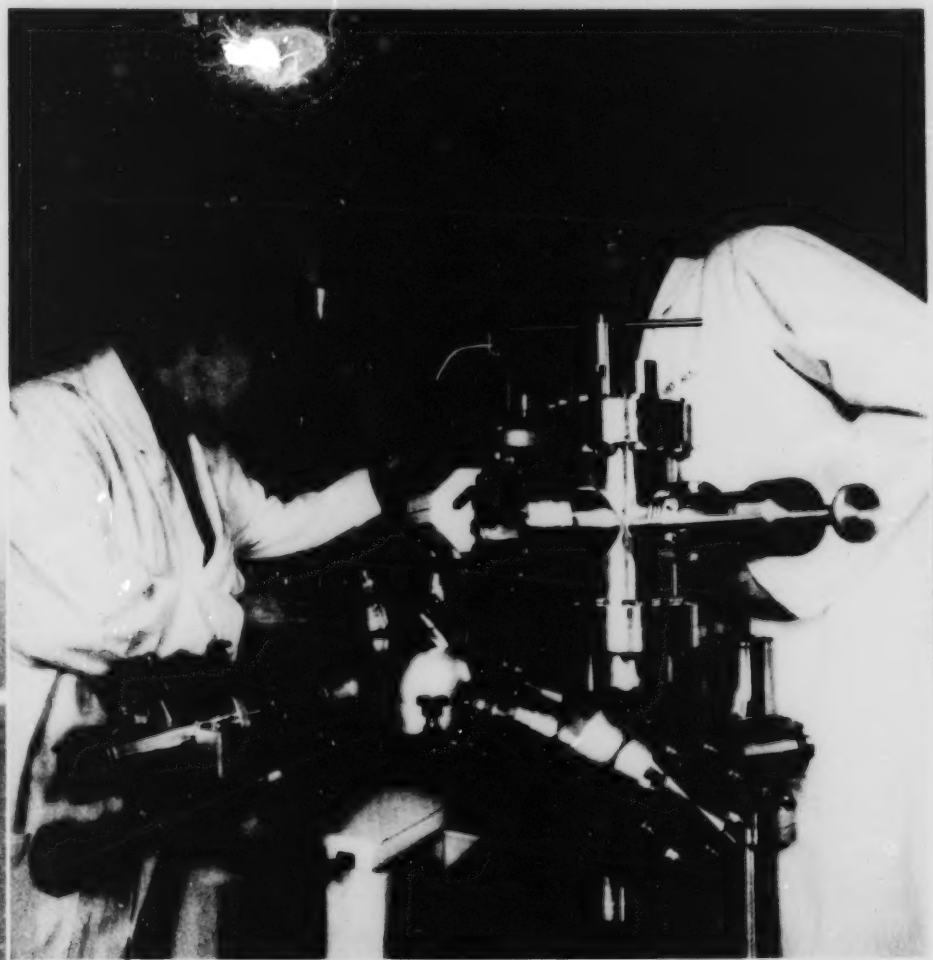
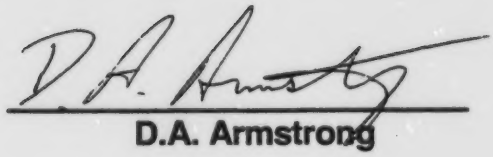
Report of the AECL Research & Development Advisory Panel for 2000

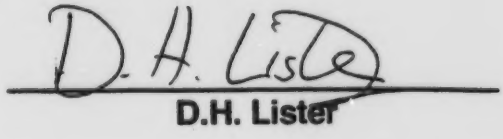


The cover depicts XPS (X-Ray Photoelectron Spectroscopy) equipment that is used for surface analysis of solids for all elements except H. It readily obtains chemical state information, does thin film analysis and has detection limits on the order of 0.01 atomic %.

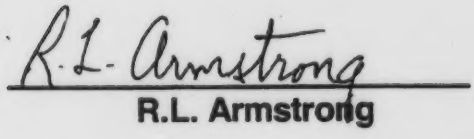
2000 Report of the AECL R&D Advisory Panel



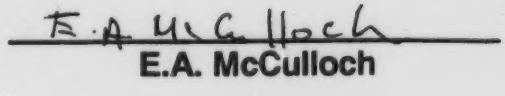
D.A. Armstrong



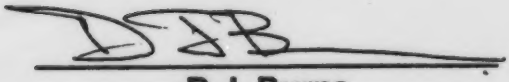
D.H. Lister



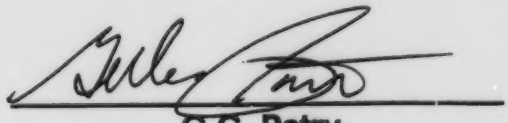
R.L. Armstrong



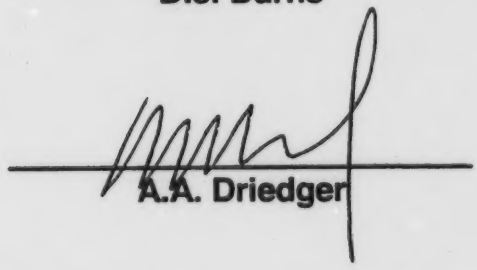
E.A. McCulloch



D.J. Burns

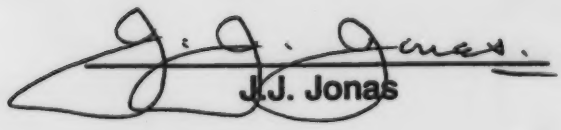


G.G. Patry

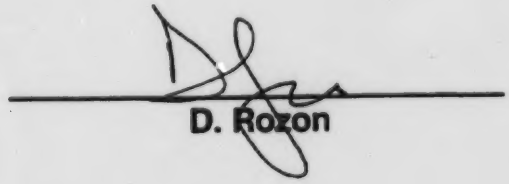


A.A. Driedger

J.T. Rogers



J.J. Jonas



D. Rozon

J.H.F. Jennekens

TABLE OF CONTENTS

		Page
Chapter 1:	INTRODUCTION	1
Chapter 2:	VISION 2020 AND BEYOND: AN UPDATE	3
	2.1 Government Initiatives	3
	2.1.1 Nuclear Non-proliferation – MOX Fuel Research	3
	2.1.2 Health	4
	2.2 A Research Reactor for Basic Materials Research and CANDU-Specific Research	4
	2.3 Climate Change and the Positive Role of Nuclear Energy	5
	2.3.1 Introduction	5
	2.3.2 Greenhouse Gas Emissions and CANDU	6
	2.3.3 Extended Applications of CANDU Reactors	10
	2.3.4 International Views on Nuclear Energy and Climate Change	11
	2.3.5 Conclusions and Recommendations	12
Chapter 3:	RESEARCH AND DEVELOPMENT CAPABILITY REVIEW	15
	3.1 Introduction	15
	3.2 CANDU Research and Development Capability Review by COG	16
	3.3 CNSC Assessment of the Changing R&D Environment	21
Chapter 4:	ADVANCED CANDU REACTORS – PART 1: THE NEXT-GENERATION CANDU REACTOR (NG-CANDU)	23
	4.1 Introduction	23
	4.2 Objectives for the NG-CANDU Design	23
	4.3 The NG-CANDU Design	24
	4.3.1 Methodology for Optimized Design	24
	4.3.2 Key Parameters of the NG-CANDU Design	24
	4.3.3 Enhanced Passive Safety for NG-CANDU	27
	4.4 Research and Development Requirements for the NG-CANDU	28
	4.4.1 Fuel and Fuel Bundles	28
	4.4.2 Fuel Channels and Related Components	28
	4.4.3 Components and Systems	29
	4.4.4 Control and Instrumentation	29
	4.4.5 Safety Technology	29
	4.4.6 Emissions and Waste Management	30
	4.4.7 Major R&D Facilities for NG-CANDU	30
	4.5 NG-CANDU as a Generation-4 Reactor Design	31
	4.6 Conclusions and Recommendations	31

Chapter 4: ADVANCED CANDU REACTORS – PART 2: THE CANDU-X REACTOR CONCEPT 35
4.7 Introduction 35
4.8 CANDU-X Conceptual Designs 35
4.8.1 CANDU-X Mark 1 36
4.8.2 CANDU-X NC 37
4.8.3 CANDUal-X1 and CANDUal-X2 37
4.8.4 CANDU-X DC 38
4.8.5 Advantages of SCW-Cooled CANDU Designs over SCW-Cooled PWR Designs 38
4.9 R&D on Enabling Technologies for CANDU-X 38
4.9.1 Reactor Outline Specifications 39
4.9.2 Conceptual Plant Layout and Cost Model 39
4.9.3 Internally Insulated Fuel Channel Concept 39
4.9.4 Fuel Cycles and Fuel Bundles 40
4.9.5 Thermalhydraulics, Reactor Physics, and Chemistry 40
4.10 Conclusions and Recommendations 40

Chapter 5: PLANT LIFE MANAGEMENT 43
5.1 Introduction 43
5.2 Plant Life Management for CANDU-6 Reactors 43
5.3 Point Lepreau Refurbishment 46

Chapter 6: NUCLEAR REGULATORY ENVIRONMENT 50
6.1 Introduction 50
6.2 The Regulatory Process for Nuclear Power Reactors in Canada 50
6.2.1 Risk-Informed Regulation 50
6.2.2 Development of Probabilistic Risk Assessment in Canada 52
6.2.3 Environmental Assessment Under the Nuclear Safety and Control Act 53
6.3 Nuclear Regulation and Human Resources 54
6.4 COG Review of Nuclear R&D Capability in Canada 54
6.5 Conclusions 55

Chapter 7: MANAGEMENT OF COMPUTER CODES FOR DESIGN AND SAFETY ANALYSIS 57
7.1 Introduction 57
7.2 Software Quality Assurance and Code Qualification 57
7.3 Computer Code Validation 57
7.4 Industry Standard Toolset Computer Codes 58
7.5 Code Management Panel and Code Centre 58
7.6 Code Development for the NG-CANDU Design 59
7.7 Conclusions and Recommendations 59

Chapter 8:	RADIOBIOLOGY AND HEALTH PHYSICS PROGRAM		62
	8.1	Introduction	62
	8.2	COG and Radiobiology	63
	8.3	The CRL Radiobiology Program	63
	8.4	The Role of Health Canada in the Repositioning of Biology and Health Physics	65
	8.5	Radiobiology for the Nuclear Industry	65
	8.6	Radiobiology for Canada	66
Chapter 9:	UNIVERSITY RELATIONSHIPS		68
	9.1	Introduction	68
	9.2	Nuclear Education in Universities	69
	9.3	COG Workshop and University/Industry Initiatives	70
	9.4	Review of AECL/University Links	73
		9.4.1 University Chairs	73
		9.4.2 Other Industrial Chairs	75
		9.4.3 Nuclear Engineering Chairs Abroad	76
		9.4.4 Research Contracts with Universities	76
		9.4.5 Students at AECL Laboratories	77
	9.5	Recommendations	
Appendix A:	Terms of Reference of the Research and Development Advisory Panel to the Board of Directors of Atomic Energy of Canada Limited		79
Appendix B:	Panel Membership		80
Appendix C:	Panel Publications and Submissions		81
Appendix D:	Frequently Used Abbreviations/Acronyms		82
Appendix E:	Panel Activities		84

102-04294/

CHAPTER 1: INTRODUCTION

This is the ninth annual report of the Research and Development Advisory Panel (Panel). In preparation for the development of this report, the Panel met on four occasions for a total of 12 days to consider presentations by scientific, product engineering and marketing staff from Atomic Energy of Canada Limited (AECL), and by invited speakers from industry and government. There were many additional meetings that task teams of the Panel held throughout the year to gather information and to develop the material presented in this report.

In September 1999, AECL published a report by the Panel on the need for nuclear research and development in the 21st century; this report "Vision 2020 and Beyond" was an adaptation of an earlier report that the Panel prepared at the invitation of Natural Resources Canada (NRCan). Figure 1.1 is from the report "Vision 2020 and Beyond". It shows how research and development and the products of nuclear science and engineering impact, directly or indirectly, on the daily lives of Canadians. An update on some of these impact areas is given in Chapter 2 of this report.

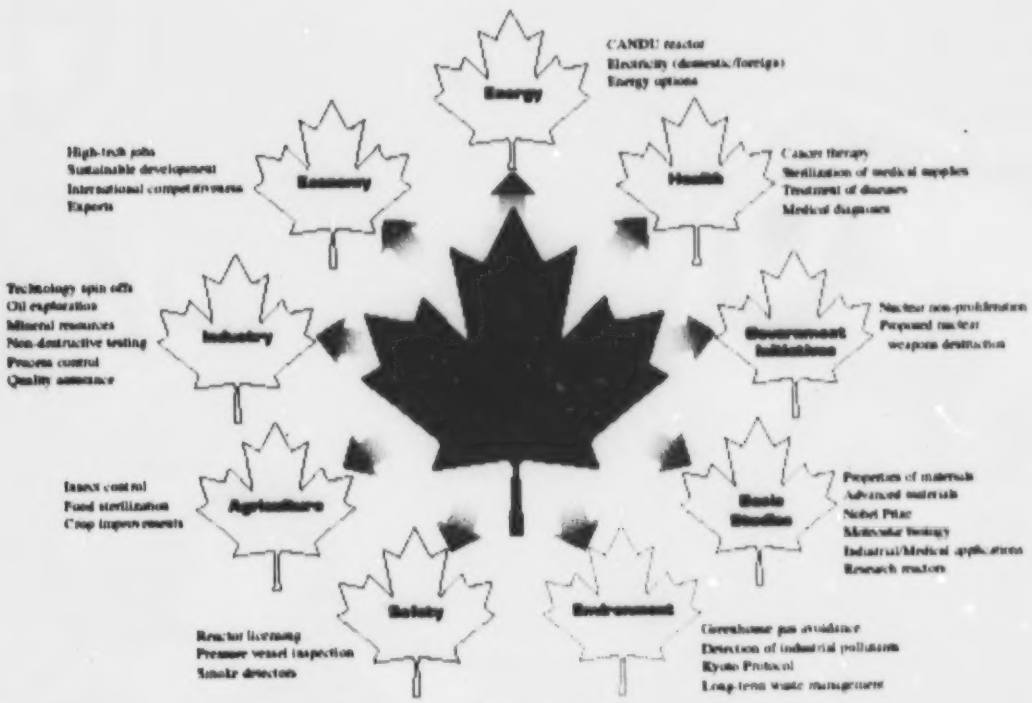


Figure 1.1

Previous annual reports of the Panel have included discussions of the large reductions over the last five years of funding for research and development in nuclear science and engineering. The associated loss of core capability, infrastructure and staff is discussed in Chapter 3.

A highlight during this year has been AECL's progress in defining a next generation power reactor, NG-CANDU, which will have a much lower capital cost than the current designs, CANDU 6 and 9. Chapter 4 considers R&D requirements for this new design and research on the much longer-term concept, CANDU-X.

AECL is working with New Brunswick Power (NBP) on the plant life management of the CANDU 6 reactor at Point Lepreau. It is also very involved in the refurbishment of the Pickering A reactors that Ontario Power Generation (OPG) plans to return to service beginning in 2001. The management and refurbishment of CANDU reactors by Canadian utilities is an important business area for AECL that draws on design and research and development expertise. Plant life management is discussed in Chapter 5.

Key inputs in plant life management and the development of new designs, such as NG-CANDU, are the requirements of the regulator. Chapter 6 considers the regulatory environment. Chapter 7 is an update on computer code management at AECL, a topic partly covered by a Generic Action Item (GAI) of the regulator.

Partnerships for research and development are covered in Chapters 8 and 9. Progress in repositioning the Radiation and Health Physics program is considered in Chapter 8. The relationship of AECL and the utilities with the universities is discussed in Chapter 9.

The terms of reference of the Research and Development Advisory Panel to the Board of Directors of Atomic Energy of Canada Limited are given in Appendix A. The Panel members and their affiliations are listed in Appendix B.

CHAPTER 2: VISION 2020 AND BEYOND: AN UPDATE

"Vision 2020 and Beyond" is a 1999 report of the Panel on the need for nuclear research and development in the 21st century. Figure 1.1 shows how R&D and the products of nuclear science and engineering impact directly or indirectly on the daily lives of Canadians. An update on some of these areas of impact is given below.

2.1 GOVERNMENT INITIATIVES

2.1.1 Nuclear Non-proliferation – MOX Fuel Research

The United States and Russia have agreed to dismantle parts of their nuclear arsenals. As a result, each country will have about 50 tonnes of weapons-grade plutonium to stockpile or dispose of. If this surplus weapons-grade plutonium is converted into a mixed oxide (MOX) fuel, it can be used in nuclear power plants to generate electricity, rendering the plutonium unsuitable for weapons purposes.

In September 1999, the federal government announced that it would conduct experiments on USA and Russian test samples of MOX fuel as part of Canada's participation in an international non-proliferation initiative to provide for the safe and secure disposition of weapons-grade plutonium.

The MOX fuel for these experiments at Chalk River Laboratories has been imported into Canada in the form of fuel pellets that consist of about 3% plutonium oxide and about 97% uranium oxide. As in the case of the natural uranium fuel used in CANDU power reactors, the amount of radiation from MOX is so small that there is no significant risk to health and safety. MOX fuel is a stable solid ceramic; it is not a powder that can be inhaled. The total plutonium in each shipment was about 120 grams.

The MOX samples supplied by the USA and Russia are being used to assemble three fuel bundles for irradiation in the NRU research reactor; the first MOX bundles will be loaded late in 2000. The time scale for these irradiations is three to four years. A primary function of the NRU reactor has always been the evaluation of new fuel designs.

This research program at Chalk River Laboratories, including the shipment to Chalk River of the pellets inside a zirconium sheath and special container, has provoked unnecessary public concern. The staff at Chalk River has been handling plutonium isotopes safely in their laboratories and research reactors since the 1940s. Also, the shipping of radioactive components, including irradiated fuel from power plants, to Chalk River for examination in the hot cells is routine and subject to very stringent safety rules and regulations.

It is unfortunate that the irrational arguments against these shipments have not been balanced by public recognition that Cobalt 60 used for cancer therapy and short-lived radioisotopes for nuclear medicine are routinely shipped within Canada and to many other countries around the world. The risks associated with the production and shipping of these radioactive materials are very small compared to the medical benefits. The risks associated with the production, shipping

and assessment of MOX fuel are also very small compared to the R&D contribution that Canada will have made by 2004 to establishing a method for disposing of weapons-grade plutonium, thereby reducing the risk of theft and proliferation. Perhaps it is pertinent to emphasize here that this is the opinion of a Panel that includes specialists in cancer research, nuclear medicine, nuclear engineering, and a former Deputy Director General of the International Atomic Energy Agency (IAEA), responsible for nuclear non-proliferation.

2.1.2 Health

Canada is the world's leading producer and supplier of Cobalt 60 used in cancer therapy and of short-lived radioisotopes for nuclear medicine. During 2000, construction was completed at Chalk River Laboratories of two new MAPLE reactors for the production of medical radioisotopes. During a Panel meeting at Chalk River, the Panel visited these reactors and the new isotope processing facility. These reactors were designed by, and will be operated by AECL for MDS Nordion Inc., which has developed from a spin-off from AECL in 1991.

When these new facilities have been fully commissioned, production of radioisotopes in AECL's NRU research reactor will end. NRU has been in service for 43 years, and the Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) has been advised that NRU will be shut down no later than 2005. When NRU is shutdown, AECL will no longer have access to a Canadian research reactor for R&D on materials and components for existing and new designs of CANDU power reactors, and Canadian researchers on advanced materials will be seriously constrained by the loss of the NRU neutron beam sources.

2.2 A RESEARCH REACTOR FOR BASIC MATERIALS RESEARCH AND CANDU-SPECIFIC RESEARCH

Since its inception, the Panel has been a strong advocate of a new research reactor, now called the Canadian Neutron Facility (CNF), to replace NRU. The proposed CNF is a variant of AECL's MAPLE reactor technology and has been designed to satisfy R&D needs for existing and new CANDU power reactors and for advanced materials research using neutron beams. A major difference between NRU and CNF is that the CNF will have a cold source for neutron beams, which considerably enhances the ability of scientists to understand molecular structure of biological materials.

The CNF proposal was considered by Cabinet, but was not included in the February 2000 federal budget. AECL, as a Crown Corporation, continues to press the case for the CNF through the Nuclear Energy Division of NRCan. The National Research Council (NRC) is championing the need for the CNF for advanced materials research through its ministry, Industry Canada. Some members of the Panel met with the president of NRC during the summer; they were told that the CNF is listed as one of NRC's top three priorities for funding approval.

Anticipating that CNF funding will be approved in 2000 or 2001, AECL formed a site selection committee to consider where to site the CNF at Chalk River. A recommendation from the committee was submitted to management in July 2000. This is an important first step for the environmental assessment that will be required and which will take about two years. The six

years required overall for the environmental assessment, construction, and commissioning of the CNF indicates that there will be a gap (neutron gap) of about two years between the closure of NRU and the commissioning of the CNF. For technical and other reasons, university researchers and AECL staff have always carried out some research in foreign research reactors. During the neutron gap period, this will be the only option. For AECL, it is not only an expensive option but also technically limiting and very difficult to manage if the neutron gap is much more than two years.

The Panel is convinced that an extended neutron gap will harm AECL's credibility as a reactor vendor. Elsewhere in this report (Chapter 4, Part 1) the Panel reviews the design and R&D requirements of the proposed NG-CANDU power reactor. Fuel bundles for this reactor and any other new fuels, e.g. MOX, must be assessed by irradiating full-size bundles in a research reactor before the utility and regulator will consider allowing performance tests in a power reactor.

2.3 CLIMATE CHANGE AND THE POSITIVE ROLE OF NUCLEAR ENERGY

2.3.1 Introduction

Through its Crown Corporation, AECL, and the export of power reactors, the federal government helps reduce the number of fossil fuel plants that will be built as economies develop, thereby reducing the rate of growth of harmful emissions, including greenhouse gases (GHG). The Panel has continued to monitor and participate in the debate on climate change.

The Panel reviewed the issue of global climate change and the role of GHG in this phenomenon in its 1999 Report. The Panel pointed out that the scientific consensus was clear that increasing emissions of GHG, particularly carbon dioxide (CO_2) from the burning of fossil fuels, are increasing global temperatures, which will, without mitigative actions, lead to global climate change with severe social and economic consequences.

The international response to this issue led to a conference on global climate change in Kyoto, Japan, in 1997, at which developed countries pledged to reduce GHG emissions below 1990 levels by given amounts by the period 2008-2012. Under the Kyoto Protocol, Canada has undertaken to reduce GHG emissions by 6% below 1990 emissions, nominally by 2010.

Since nuclear power plant operation, unlike fossil-fuel plant operation, does not produce GHG emissions, nuclear energy provides an important means of meeting the Kyoto commitments while also meeting the world's energy needs. Thus, the global-climate change issue requires the maintenance and growth of nuclear energy to meet the increasing energy needs of the world.

This section of Chapter 2 is an update of the section of the 1999 Panel Report on this topic.

2.3.2 Greenhouse Gas Emissions and CANDU

2.3.2.1 Greenhouse Gas Emissions in Canada and the Role of CANDU Reactors

GHG emissions in Canada, as updated in reference [1] from the earlier reference [2] cited in the 1999 Panel Report, are composed[1] mainly of carbon dioxide (CO_2, 76%), methane (CH_4, 13%), and nitrous oxide (N_2O, 10%). About 83% of the total is caused by energy activities, composed of energy end-use, 52% (mainly transportation), electricity production, 16%, and fossil-fuel supply, 14%. The total GHG emissions in Canada in 1990 are estimated in reference [1] to have been 601 million tonnes (Mte), of which 461 Mte were CO_2. Projections in reference [1] indicate that total GHG emissions in Canada would reach 764 Mte by 2010, of which 595 Mte would be CO_2, if no mitigative measures are taken. To meet its commitments under the Kyoto Protocol, Canada will have to reduce total annual GHG emissions by 199 Mte and CO_2 emissions by about 160 Mte[2] below the "business-as-usual" case by 2010.

As pointed out in last year's Panel Report, by using CANDU power plants instead of fossil-fuel plants, Canada has avoided significant emissions of CO_2 over the years since the first CANDU plant came on line in 1962. Natural Resources Canada has recently recalculated the emissions avoided by the use of nuclear energy in Canada and has concluded that about 1440 Mte have been avoided up to the end of 1999 [3], significantly higher than previously estimated. Furthermore, about 67 Mte of CO_2 emissions were avoided by nuclear power generation in 1999, even though the Pickering-A and Bruce-A plants continued to be laid up. As pointed out in the 1999 Panel Report, Canada would face an even more difficult task in meeting its Kyoto commitments without the continuing contribution of nuclear power.

The Panel has calculated the CO_2 emissions from electrical generation in Canada for recent years, as cited in [4]. For 1998, the Panel estimates these emissions to be about 129 Mte of CO_2, considerably higher than the 98 Mte estimated for 1996. About half of this 32% increase in only two years results from the increase of coal-fired generation to replace generation from the laid-up OPG reactors[3]. In addition, significant increases of pollutants that contribute to acid rain and smog, SO_2 and NO_x, have also occurred because of the lay-up of the OPG reactors.

It is also important to recognize that the Panel estimate of CO_2 emissions from electrical generation in 1998, 129 Mte, are already **10% higher** than the projected CO_2 emissions, 117 Mte, from this sector in 2010, for the business-as-usual case given in reference [1].

2.3.2.2 Projections for Reduction of CO_2 Emissions by CANDU Nuclear Power Plants to 2030

In recent internal studies, NRCan has assessed the effects of different scenarios for nuclear power generation in Canada on future CO_2 emissions [3]. Three scenarios were developed: a Business-as-Usual (BAU) scenario, a Medium-Case scenario and a High-Case scenario, to estimate potential emission reductions over the next thirty years.

---

[1] For convenience, quantities of GHGs are stated in terms of equivalent quantity of CO_2, the predominant GHG.

[2] Note that this required reduction is 40 Mte higher than the estimate given in the 1999 Panel Report.

[3] The other half was due to a reduction in hydro-electric generation in 1998 compared to 1997.

The BAU scenario is similar to the NRCan "reference outlook" case, discussed in Chapter 3 of last year's Panel Report, but is based on reference [1]. This scenario assumes that electricity demand will increase by about 1% per year, that the Pickering-A, but not the Bruce-A, units return to service, that existing reactors are not replaced at the ends of their lives and that no new nuclear plants are built. In this scenario, the nuclear generating capacity in Canada decreases from about 16,000 MW in 2000 to about 3500 MW in 2030.

In the Medium-Case scenario, it is assumed that electricity demand increases by about 1.3% a year, both the Pickering-A and Bruce-A units return to service, the lives of existing reactors are extended, some coal-fired capacity in Ontario is replaced by nuclear, and some of the increasing demand there is met by nuclear. The result is that nuclear returns to its 1995 share of generation in Canada of about 18%. In this scenario, 10 new NG-CANDU-6 reactors will be built over the period to 2030.

In the High-Case scenario, the assumptions are essentially the same as those in the Medium-Case scenario, except that all of the coal-fired capacity in Ontario is replaced by nuclear and all of the increasing demand there is met by nuclear. In this scenario, 22 new NG-CANDU-6 reactors will be required in the period to 2030.

NRCan also investigated the potential for reduction of CO_2 emissions by CANDU reactor exports [3] and concluded that AECL could capture a substantial share of the emerging global nuclear power market over the next 30 years, selling ten CANDU reactors in each of the next three decades, for a total of 30 reactors by 2030. As discussed in the 1999 Panel Report, under the Kyoto Protocol, Canada may be able to obtain GHG reduction credits for CANDU exports, to be shared with the customer country, although the details have not yet been worked out.

The cumulative avoidance of CO_2 emissions in these scenarios is summarized in Table 2.1. Even the BAU scenario, results in a cumulative reduction of 3400 Mte by 2030, while the other two scenarios result in about 50% to 75% larger reductions. The export scenario would result in a cumulative reduction by 2030 that is almost the same as that for the BAU case.

To put the cumulative reductions of the BAU scenario into perspective, the Panel has estimated from reference [1] that a cumulative reduction of about 1500 Mte of CO_2-equivalent GHG emissions would be required from now to 2010 for Canada to meet its Kyoto commitment. ***Therefore, without the contribution of nuclear power from now to 2010, the total cumulative reduction required to meet the Kyoto target would be about 2260 Mte, about 50% higher than the current estimated value in reference [1].***

TABLE 2.1

CUMULATIVE CO_2 EMISSIONS (Mte) AVOIDED BY NUCLEAR POWER IN VARIOUS SCENARIOS

YEAR	BAU	MEDIUM	HIGH	EXPORTS
2000-2010	760	865	865	~450
2000-2030	1960	3550	4430	3400
1962-2030	3400	4990	5870	3600

Table 2.1 emphasizes that, while nuclear power has a vitally important role in helping Canada to meet its Kyoto commitments by 2010, it could play an even larger role in helping to stabilize GHG emissions in Canada, and thus help to mitigate global climate change, in the years beyond 2010. In addition, as discussed below in Section 2.3.3, the potential application of CANDU reactors to such non-conventional uses as the production of electrolytic hydrogen for transportation use and the recovery of petroleum products from the tar sands could greatly increase the avoidance of GHG emissions in Canada in the future.

2.3.2.3 Canadian Actions on Kyoto Commitments

As discussed in last year's Panel Report, a key part of Canada's activities in response to its Kyoto commitments has been the production of Options reports by the various Issues Tables, which are composed of representatives of stakeholders concerned with the issues. Two Options reports are of particular interest to AECL: the Electricity Industry Issues Table [5] and the Technology Issues Table [6]. The nuclear industry was represented on both of these Tables.

The Electricity Industry Issues Table could not reach a consensus on a role for nuclear energy in GHG reduction because of a polarization of views between proponents and opponents. The Table makes two recommendations concerning nuclear energy:

- Governments [are] to clarify whether there is a place for nuclear power in Canada's future electricity supply industry, in particular, with regard to climate change.

- If so, there is a need for governments to resolve regulatory issues with respect to nuclear power forming an ongoing part of the electricity sector's response to climate change.

With respect to the first recommendation, the Panel is very concerned that there has not already been a firm statement from the federal government of the absolute necessity for nuclear energy in Canada, since it is the only proven means of large-scale, base-load electricity generation without GHG emissions. Even hydro electricity generation, commonly considered to be GHG free, causes GHG emissions from the flooding of large areas of forests and peat bogs that include methane as well as CO_2 [7]. The failure of the Electricity Industries Issues Table to make a positive statement to this effect is troubling.

The Panel comments in Chapter 6 of this Report on matters relevant to the second recommendation. (See also the last paragraph of this section about the proposed restart of the Pickering-A reactors.)

The Technology Issues Table is much more positive towards nuclear power. It proposes that public funding for nuclear be increased up to $30 million per year above the current $100 million per year, because of the potential contribution of nuclear energy to GHG reduction. Basic research funding to increase the competitiveness of the CANDU technology should be increased immediately by $10 million per year and further R&D on waste management should be funded immediately by $5 million per year. Also, $15 million per year should be provided to support demonstrations of nuclear heating applications in industry, under certain conditions. The Panel has recommended in Chapter 4, Part 1, of this report that AECL pursue vigorously this recommended additional funding.

As mentioned in Section 2.3.2.2 above, Canada may be able to obtain credits for exports of CANDU technology under the Kyoto Protocol. This requires that nuclear energy not be excluded from consideration for emissions trading as a Clean Development Mechanism or by a Joint Implementation plan under the Kyoto Protocol. The Panel is aware that some countries (and international organizations such as OPEC) are opposing any recognition of nuclear energy for this purpose and urges the Canadian Government to ensure that nuclear energy is not excluded.

As mentioned in the 1999 Panel Report, NRCan has been undertaking a program, "Energy Technology Futures 2030", to develop a set of visions of Canada's energy system in the period 2030 to 2050 and to identify long-term technological options that could fundamentally alter the relationship between economic growth and GHG emissions. At this stage, four scenarios have been developed that envision different roles for nuclear energy. This work has not yet been completed.

The outcome of all these activities will form the basis for Canada's National Implementation Strategy to meet its Kyoto commitments. A statement of the National Implementation Strategy (NIS) is scheduled to be issued by the end of 2000. The Panel is aware that AECL, with the Canadian Nuclear Association, is participating in the activities of the Integrative Table that is developing the NIS, to make the case for nuclear energy's vital role in coping with climate change. The Panel strongly supports this participation.

It has been suggested to the Panel that AECL should be a player and not just an observer in environmental matters. This would involve developing an environmentally oriented research program. The Panel recognizes the difficulty of fitting such a program into AECL's mandate, organizational structure and budget. The Panel suggests that, should AECL consider such a research program, it should pursue funding from the Climate Change Action Fund or similar funds. The possibility of obtaining such funding was proposed in the Panel's 1999 Report.

Reflecting the Panel's concerns about Canada's response to its Kyoto commitments, representatives of the Panel met with representatives of NRCan, the Privy Council Office, Foreign Affairs and International Trade, Finance, and Environment Canada to make a presentation on the importance of nuclear energy in the reduction of GHG emissions. (The Panel

representatives also emphasized the vital necessity for the future of AECL for the commitment of funds for the Canadian Neutron Facility as soon as possible.)

The Panel is also concerned that the environmental impact of not restarting the Pickering-A reactors was not considered in the environmental assessment of this restart. This approach is directly opposed to the fulfilment of Canada's Kyoto commitments. If these reactors are not restarted, there will be continuing CO_2 emissions from coal-fired plants, as well as SO_2 and NO_x emissions that will seriously affect the health of the public. On August 31, 2000, the CNSC issued an Environmental Assessment Screening Report containing the CNSC staff findings on the OPG environmental assessment of the Pickering-A restart. The Screening Report states that the restart is not likely to cause adverse effects on the environment. While this is a positive step, the Board of the CNSC must still approve the restart and there may still be other obstacles to overcome.

2.3.3 Extended Applications of CANDU Reactors

2.3.3.1 Non-Electric Applications of CANDU

If nuclear energy is to represent more than a small fraction of the world's total energy in the future and thereby contribute in more than a modest way to the reduction of GHG emissions, non-electric, as well as electric, applications of nuclear reactors will have to be pursued. The 1999 Panel Report discussed briefly such applications as district heating, industrial and chemical process heating, de-salination of sea water and petroleum products recovery from oil sands.

AECL has been working with Suncor Corporation on a proposal for the application of an NG-CANDU-6 reactor to bitumen recovery from the Alberta oil sands [8]. The use of a CANDU reactor for this purpose has been made possible by the development of the Steam-Assisted Gravity Drainage (SAGD) process [9], in which steam at 2 to 2.5 MPa (~210°C to ~220°C), within the range of a conventional CANDU, is injected into a long horizontal pipe near the base of an oil-sands reservoir. The steam heats the heavy oil that drains down by gravity to a lower horizontal pipe from which the oil-steam mixture is recovered. The SAGD process has been demonstrated and opens up for potential production the 88% of the oil sands not accessible by the conventional open-pit technology, making an estimated 330 billion barrels recoverable. Suncor is planning to use SAGD technology for a large-scale development coming on line in the period 2006 to 2008, with the possibility of additional development after that time.

AECL has proposed a co-generation NG-CANDU-6 that will provide both the steam and electricity needed for the operation of the plant as well as for the electrolytic production, from water, of hydrogen needed for upgrading the recovered heavy oil, with oxygen and heavy water as by-products. The joint study shows that the proposal is technically feasible. Based on the 30% reduction of capital costs for the NG-CANDU design, as discussed in Chapter 4.1, the economics look promising, even with a high rate of return, when compared to a natural gas-fired steam plant with natural gas at $4(US)/GJ. The AECL proposal has the added advantages of greatly reducing the GHG emissions otherwise incurred[4], of freeing natural gas for more economic purposes and

[4] As noted above in Section 2.3.2.1, fossil-fuel supply contributes about 14% to GHG emissions in Canada, so that reduction in the fossil-fuel supply sector is equally as important as in the electricity production sector, which contributes about 16%.

providing by-product oxygen and heavy water. The Panel strongly supports AECL's efforts in this area, which are consistent with a recommendation in its 1999 Report.

2.3.3.2 Hydrogen and Nuclear Energy

In its 1999 Report, the Panel discussed the significant long-term potential for non-CO_2 emitting hydrogen fuel cells to replace the internal combustion engine in the transportation sector, the major emitter of GHG in Canada and many other countries. The Panel cited reference [10] in pointing out that there would be no overall reduction, but actually an increase, in GHG emissions if the hydrogen was produced by the conventional steam-methane reforming process. To achieve the desired reduction, the hydrogen would have to be produced by the electrolysis of water from a non-GHG emitting electricity source, with nuclear power being the only practical large-scale source. As discussed in Section 2.3.3.1, electrolytic hydrogen produced by CANDU-generated electricity can also be used to upgrade heavy oils from the Alberta oil sands.

Exciting opportunities exist for starting the conversion of Canada's transportation systems from a fossil-fuel base to an electrolytic-hydrogen base. To the essential elements for such a conversion that exist in Canada, that is, AECL's CANDU reactors, Stuart Energy Systems' electrolyzers and Ballard Power Systems' fuel cells, as listed in the 1999 Panel Report, we can add hydrogen storage in low-weight, high-pressure cylinders produced by a Canadian company, Dynetek. The Panel reiterates its view that Canada is in an excellent position to exploit world markets in the area of hydrogen for transportation by taking advantage of its pioneer roles in these leading-edge technologies.

2.3.4 International Views on Nuclear Energy and Climate Change

A 1999 study on climate change and nuclear energy by the Royal Society and the Royal Academy of Engineering [11] concluded that it is vital to keep the nuclear option open in the UK, as an important measure for mitigating the threat of drastic climate change, and that nuclear power plants must be included in electrical power planning for the UK[5]. The Panel was pleased to play a key role in arranging for Brian George, one of the authors of the report, to come to Canada to discuss its findings and recommendations with representatives of government and industry and to present the W.B. Lewis Lecture for 2000 on the same topic at Carleton University.

The Atlantic Council of the United States, in a major study of the global role of nuclear energy, concluded that nuclear power facilities should be given credit for their significant contribution to the reduction of GHG emissions [12].

In spite of opposition to nuclear power in a number of countries in the European Union, especially Sweden and Germany, a recent report published by the European Directorate General for Energy has concluded that nuclear power is essential for Europe to meet its Kyoto commitments [13]. Even under assumptions of a high rate of substitution of coal by natural gas, aggressive energy-demand management and an increase in renewable sources of energy, the

[5] The Panel notes that a proposal has been submitted to the Royal Society of Canada and the Canadian Academy of Engineering to undertake a similar study on the role of nuclear energy in Canada in coping with climate change.

report projects that CO_2 emissions will increase by about 7% by 2010, compared to Europe's Kyoto Protocol target of 8% reduction below 1990 levels by 2010. It also projects an increase of 14% by 2020. To meet the Kyoto commitments, two alternatives are proposed: either a high carbon tax plus replacement of retiring nuclear plants by new nuclear capacity, or construction of new nuclear capacity. In the latter case, the percentage of nuclear electricity generation has to increase from 21% today to 26% by 2020 and 28% by 2030, implying nuclear capacity increases from 132 GW now to 181 GW by 2020 and to 212 GW by 2030.

Both the European Commissioner for Energy and the Secretary-General of the World Energy Council agree that Europe has no chance of meeting its Kyoto commitments without nuclear energy [14].

2.3.5 Conclusions and Recommendations

Nuclear energy must play a significant role in Canada's efforts to meet its Kyoto commitments; therefore, ***it is essential that the laid-up OPG reactors at Pickering and Bruce be brought back on line as soon as possible.*** The Panel is concerned that the serious environmental impact of not restarting the Pickering-A reactors was not considered in the assessment of their restart.

The construction of new nuclear capacity together with life-extension of the existing and restarted plants is essential to help to minimize CO_2 emissions in Canada, in the long term, as indicated by the internal NRCan study, reference [3]. The Panel is concerned that, as reflected in a recommendation of reference [5], the federal government has not issued a firm statement that nuclear energy is an important element in the minimization of GHG emissions.

It is also very important that GHG-reduction credits for nuclear reactor exports be included in the Kyoto Protocol Clean Development Mechanisms and Joint Implementation procedures and urges AECL to continue to press the Canadian government to ensure that nuclear energy is included as an acceptable technology for GHG-emission reduction in these procedures.

To enable CANDU reactors to make a more substantial contribution to the reduction of GHG emissions in the future, AECL should continue to pursue non-conventional applications of CANDU reactors, as in the joint study with Suncor on the multi-purpose use of an NG-CANDU for petroleum products recovery from the Alberta oil sands. The Panel continues to strongly support AECL activities in this area. The Panel reiterates a conclusion from its 1999 Report that the synergism of nuclear energy and hydrogen opens up exciting opportunities for Canada to play a leading role in a revolution in world transportation in which fuel-cell-powered vehicles replace gasoline- and diesel-powered vehicles, all based on Canadian-developed technologies: CANDU reactors, Stuart electrolyzers, Ballard fuel cells and Dynetek storage cylinders.

Based on the foregoing discussions, the Panel makes the following recommendations:

Recommendation 1

The Panel recommends that AECL, in cooperation with the Canadian nuclear industry, continue to participate actively in the development of Canada's National Implementation strategy for its Kyoto commitments and continue to press the federal government to accept and acknowledge that nuclear energy must be a significant part of a long-term strategy to minimize GHG emissions.

Recommendation 2

The Panel recommends that AECL, in cooperation with the Canadian nuclear industry, continue to press the federal government to ensure that nuclear energy is recognized as an acceptable means of GHG reductions in the Clean Development Mechanisms and Joint Implementation procedures under the Kyoto Protocol.

Recommendation 3

The Panel recommends that AECL give high priority to cooperation with the oil industry in continuing to explore the application of CANDU reactors in the recovery of petroleum products from the Alberta oil sands and support, as appropriate, the R&D necessary to pursue such applications.

Recommendation 4

The Panel recommends that AECL continue to assess the potential in Canada and abroad for non-electric applications of CANDU reactors and for the large-scale electrolytic production of hydrogen and to continue to identify and support the R&D necessary to pursue such applications.

Recommendation 5

The Panel re-iterates a recommendation from the 1999 Panel Report that AECL investigate the possibilities of obtaining R&D funding from agencies concerned with the environment, in view of the role of nuclear energy in coping with the issue of global climate change.

REFERENCES

1. Canada's Emissions Outlook: An Update; National Climate Change Process, Analysis and Modelling Group, Natural Resources Canada, December 1999

2. Technology Innovation for Mitigating Greenhouse Gas Emissions; Technology Table Foundation Paper, Climate Change Secretariat, Ottawa, October 30, 1998

3. Moore, B., Personal Communication to Panel, June 2000

4. Electric Power in Canada; Natural Resources Canada, 1999 and previous years

5. Electricity Industry Issues Table. Options Paper, November 3, 1999

6. Technology Issues Table, Enhancing Technology Innovations for Mitigating Greenhouse Gas Emissions. Final Report, December 10, 1999

7. Rudd, J.W.M., R.E.Hecky, R.Harris and C.A.Kelly; Are Hydroelectric Reservoirs Significant Sources of Greenhouse Gases?, Ambio 22:4, p.246, 1993

8. Miller, A., Presentation to Panel Sub-Committee, June 23, 2000

9. Donnelly, J.K., Alternate Fuels for Oil Sands Development, Alberta Department of Energy, June 1994

10. Duffey, R.B., et al, Building Non-Carbon Bridges to the Future, 9th Canadian Hydrogen Conference, February 1999

11. Nuclear Energy - The Future Climate; The Royal Society and the Royal Academy of Engineering, June 1999

12. An Appropriate Role for Nuclear Power in Meeting Global Energy Needs; Policy Paper, The Atlantic Council of the United States, February 1999

13. Report of European Commission Directorate General for Energy, November 1999

14. The Atom's Place in Europe's Future, International Herald Tribune, June 15, 2000

CHAPTER 3: RESEARCH AND DEVELOPMENT CAPABILITY REVIEW

3.1. INTRODUCTION

In 1984 Ontario Hydro, Hydro-Québec (HQ), New Brunswick Power (NBP), and AECL established the CANDU Owners Group (COG). A primary responsibility of COG was, and is, the organization and administration of a jointly funded R&D program, recognizing that utilities and AECL would also continue to interact directly, continue to fund internal R&D programs, and to fund some experiments in offshore research reactors. Figure 3.1, based on a diagram from a recent COG report [1], indicates the magnitude of the funding cuts for COG programs in the last five years.

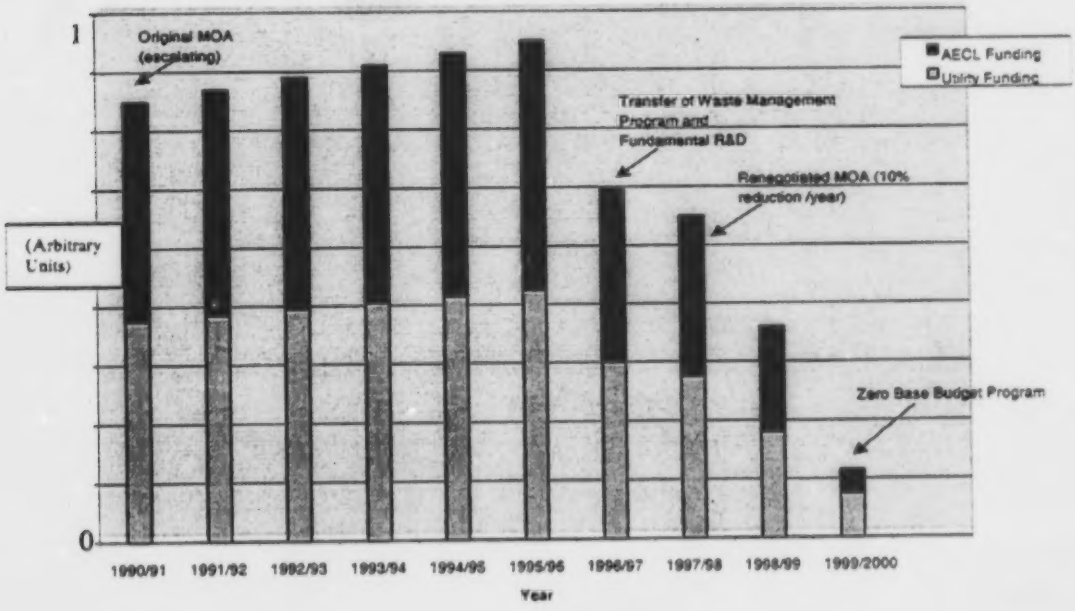


Figure 3.1: Historical Funding for COG R&D

Previous annual reports by the Panel have included discussions of the large reductions over the last five years of funding for research (fundamental and applied) and development in nuclear science and engineering. Most of these reductions have occurred because:

a) The federal government undertook a review of all its programs. One outcome of its program review for AECL has been a cut of about 50% in annual federal support for nuclear R&D. This funding cut plus R&D funding cuts made by Ontario Hydro, (see (b) below) have forced

AECL to drastically cut R&D programs, including its support of COG R&D, and to move to cut its fixed costs for nuclear licensed sites, by closing Whiteshell Laboratories.

b) The Ontario government decided to break up Ontario Hydro. Ontario Power Generation (OPG), the new company responsible for Ontario's nuclear plants, has focused on the recovery program for its nuclear plants, while simultaneously moving to a market economy for electrical power. One outcome of Ontario Hydro/OPG's review of their nuclear activities has been a major cut in R&D funding in-house and for COG programs. The impact of the latter is evident in Figure 3.1; Ontario Hydro/OPG used to provide the major part of the utility funding for COG programs.

All R&D in nuclear science and engineering has been seriously affected by the aforementioned funding cuts and by the uncertainties generated by federal government delay in funding for a new research reactor (CNF) to replace the NRU reactor at Chalk River, and also by OPG's decision to divest itself of Ontario Power Technologies (OPT), which has been their internal base for nuclear R&D.

Staff retirements and resignations have seriously eroded the core R&D capabilities of AECL and OPT. In 1999, discussions and correspondence on loss of core capability occurred among the utilities (OPG, Hydro-Québec, and New Brunswick Power) and the Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), previously the Atomic Energy Control Board (AECB). As the Design Authorities, the utilities have a responsibility to ensure that adequate infrastructure, facilities and expert staff are maintained to support the safe operation of their nuclear facilities. One of the responses of the utilities to the CNSC was to ask COG to undertake a three-month review of CANDU research and development capability. The project team for this review included COG staff, and one representative from each of the three utilities, AECL, and OPT.

3.2 CANDU RESEARCH AND DEVELOPMENT CAPABILITY REVIEW BY COG

The COG report [1] on CANDU R&D capability was available in March 2000, and presented to the CNSC. An overall recommendation of the project team was " that the industry must implement, in the near term, an increase in funding to R&D programs to ensure that adequate core capability is maintained in key areas. A detailed assessment must be undertaken to determine the required funding changes. This will ensure continued ability to respond to regulatory requirements, including ongoing and emerging safety issues. It will further ensure that a full range of R&D capability can be drawn upon to permit future R&D work driven by plant ageing/life cycle management and possible plant life extension considerations."

This overall recommendation is completely consistent with those made by the Panel in its annual reports in recent years. The executive summary of the COG report includes five key recommendations that have also been addressed, directly or indirectly, in previous Panel reports and are all strongly endorsed by the Panel. Key recommendations of the COG report and Panel comments on them are:

"To ensure longer term viability, the industry must take steps to ensure that the federal government maintains its support to the Canadian nuclear national laboratory. This role provides essential national infrastructure that includes the maintenance of both staff and facilities associated with core capabilities in a number of areas, including hot cells, a research reactor to perform materials and fuel irradiations, and the Biological Research facility."

In its reports for 1996, 1997, and 1998, the Panel argued strongly that one of the roles of AECL had been to maintain a nuclear national laboratory, and that it was very important for Canada to have such a laboratory. In the interim, funding cuts have forced AECL to concentrate on its role as a CANDU vendor and service provider for utilities here and overseas. As a result, it can no longer be argued that Canada has a nuclear national laboratory equivalent to such laboratories in the USA and France. However, this does not negate the COG project team view that Canada must have national facilities including hot cells, a research reactor and the biological research facility, built at Chalk River in 1996, that clearly require support that AECL alone cannot provide.

The Panel is encouraged by recent national developments in the Health Physics and Biological Research area (see Chapter 8). A preliminary agreement has been achieved for the transfer of administrative responsibility of AECL's program in Radiobiology and Health Physics to the Radiation Protection Branch of Health Canada. In the opinion of the Panel, this is a positive step but is not the solution. It is merely a platform from which the interested parties must work to achieve the vision for a National Centre for Radiological Sciences. It is not only AECL and Health Canada which bear responsibility to see that this is achieved, but also COG, CNSC, and the universities.

The Panel is discouraged by the delay in funding for a new research reactor and the effect that this is likely to have on staff retention and recruitment at AECL and the universities. This concern is similar to that expressed in a January 2000 report [2] on Nuclear Reactor Safety and Repository Research in Germany, commissioned by their Federal Ministry of Economics and Technology. In a section on "Promoting Young Talents in Science and Technology" this commission observes that: "Due to the ageing of present scientific and technical personnel in the field of nuclear technology, and the loss of interest of the new generation of scientists and engineers to commit themselves in this field, there is the danger of an irrecoverable loss of scientific skill. Therefore, to assure the high safety level of German nuclear facilities for the years to come, the respective competence must be maintained throughout the entire operating time of all German nuclear power plants and even beyond, taking decommissioning, dismantling, and disposal, as well as the international safety discussion, into account."

In a final remark, this German commission emphasizes the role of government in addressing this issue "Regardless of the political decision on the phase-out of nuclear energy in Germany, maintaining Germany's competence in the field of nuclear safety is a requirement for the next two decades. This is an inalienable prerequisite for the Government to fulfill its legal obligations with respect to protection measures and to measures to ensure the safety of nuclear facilities and disposal paths in accordance with the international state of the art in science and technology."

In Canada, the federal government, through NRCan and CNSC, will not be able to fulfill its legal requirements if a core capability, infrastructure and staff, is not maintained. A key part of the core capability has always been the hot cells, research reactors and test loops. A major assumption implicit in the COG Capability Review [1] is that the federal government will continue to provide support for the nuclear industry (including the regulator) in the form of financial support for national facilities. This type of government support is common in countries with a nuclear power program and/or countries that recognize that advances in materials research are much more likely if university and industrial researchers have easy access to neutron sources from a research reactor.

Recruitment and retention of new staff by AECL, OPT (OPG), and CNSC for R&D and/or regulatory work is harmed by continued uncertainty and/or short-term decisions on funding by the federal government and by OPG. To echo the German Commission, university student interest in a career in nuclear engineering or science has declined. Part of the solution to rekindling this interest is addressed by another key recommendation in the COG report.

"The Canadian nuclear R&D program must be reviewed to ensure that funding is provided in a focused and efficient manner to improve collaboration between Canadian universities and the industry. A key objective of this collaboration is to augment the resources available to the universities to maintain or enhance their nuclear science and engineering programs to support the development of Canadian scientific and engineering talent for the industry."

This is also echoed in the report of the German commission in the section on "Promoting Young Talents in Science and Technology" which ends with: "this requires that an adequate teaching and training capacity be guaranteed in the future; this capacity has been reduced considerably in the past years by, as an example, diverting university chairs to other fields of interest. The existing network of expertise between the research institutions, and the project funded institutions (e.g. universities) is a stabilizing factor in this respect".

The importance of AECL and utility funding of university chairs was addressed in the annual report of the Panel for 1999. Chapter 9 of this year's report provides an update on these university chairs, together with a discussion of some options that the industry should consider for enhancing university research and teaching on nuclear topics.

In August 2000, COG organized a meeting of professors from Canadian universities that have programs in nuclear science and engineering. Three members of the Panel attended that meeting. Current arrangements were reviewed, and various options explored for maintaining specialist offerings, recognizing also that the nuclear industry recruits extensively from much larger programs, such as natural sciences, mechanical, chemical, and electrical and computer engineering, and that these recruits should have access to teaching modules on nuclear science and engineering. Chapter 9 of this year's annual report considers this workshop in more detail.

An important outcome of this workshop is the proposal that COG establish a fifth technical committee with a view to enhancing university participation in the COG R&D program. At present COG has four technical committees that develop R&D programs in specific areas; university professors participate in some of these programs. The proposed fifth committee

(University Programs) would have a separate budget to maintain/enhance R&D capability at Canadian universities, and to ensure the output of specialists in nuclear science and engineering, who have an understanding of the unique design of the CANDU system.

(See Chapter 9 for further discussion and a recommendation about the fifth COG Committee.)

A third key recommendation in the COG report is:

The R&D supplier organizations and the utilities must ensure that a minimum R&D capability is maintained in critical areas, and that strategies are defined and programs are added as required to ensure that these capabilities remain available in the future.

All of the specific action items listed with this recommendation merit discussion here and will also be mentioned in other sections of this annual report. They are:

COG Action Item 1

"Additional programs are required to ensure that the RD-14M thermal-hydraulics facility and associated staff capability are retained until the planned closure of Whiteshell Laboratories in 2004. A decision on the long-term requirements for a facility of this type will need to be made within three years."

It is the opinion of the Panel that a new facility will be needed and should be designed for installation at Chalk River (see Chapter 4, Part 1). This facility will be needed to support existing reactors and to validate parts of the analytical work on NG-CANDU. Design work should start early in 2001.

COG Action Item 2

"Utilities need to proactively support and become directly involved in developing the business case for the refurbishment of the hot cell facilities at CRL in the context of the Canadian nuclear, national laboratory role."

Hot cells are essential infrastructure for the utilities (Design Authorities) for operating CANDU reactors in Canada. In the opinion of the Panel, the needs of the utilities are a major part of the business case. Examinations of sections of key components, e.g. pressure tubes that are removed as part of the inspection strategy or because they have failed, are an essential part of the research on ageing of reactors. Hot cells are also essential for decommissioning and for research on new reactor designs.

COG Action Item 3

"Immediate steps need to be taken to keep the Stern Laboratories open in the short term. Action is also needed to ensure that critical expertise continues to be available at Ontario Power Technologies (now called Kinetrics). These actions are required to permit a more in-depth study

to be performed on overall industry capability and on the needs (short-term and long-term) with respect to those facilities."

Stern Laboratories have unique facilities for experimental work. The Panel visited Stern Laboratories in1998 to see the test rigs that have been used over the years. These test rigs are used mainly 1) to determine or confirm predicted modes of failure of fuel channels during specified accident conditions, and 2) for critical heat flux testing of full-scale simulated fuel bundles in water. Most of the analyses of these experiments were done by staff at Ontario Hydro or AECL. CNSC has also sponsored some work at these laboratories.

The Panel agrees that there is a need for an in-depth study of overall industry capability in this area. In the long term it may be wise to have any new facilities as part of the so-called Canadian nuclear national laboratory, given the uncertainty about the future of the Stern Laboratories and the OPG decision to divest itself of OPT and to establish OPT as a commercial science and engineering services company.

Recommendation 1

The Panel recommends that AECL undertake an in-depth study with COG on the long-term needs for R&D facilities of the type at the Stern Laboratories with a view towards establishing such facilities as part of a nuclear national laboratory.

COG Action Item 4

"As key beneficiaries of radiological sciences capability (encompassing radiation biology, health physics and dosimetry), utilities need to provide active support (through coordination of utility-related programs with national programs) to help ensure that a national centre for radiological sciences is available."

As mentioned earlier, the Panel has argued for some time that these programs would be much more effective if they were coordinated and action taken to foster more collaboration with universities (see Chapter 9).

COG Action Item 5

"In identified areas of singleton expertise, additional program funding is required to ensure that staffing can be augmented to permit knowledge transfer and staff development. These include CANDU-specific areas of chemistry (activity transport, decontamination, radiation chemistry, reactor chemistry), materials (fracture mechanics), components (valves, seals, and instrumentation) and fuel channels (fatigue, corrosion, deformation, delayed-hydride cracking)."

To highlight areas at risk, the COG report considers five technical areas: fuel channels; safety and licensing; chemistry, materials and components; instrumentation and control; and health, safety, and environment. Three time scales are considered: short-term (0-3 years), medium-term (3-10 years), and long-term (10+ years). Overall this review identifies some short-term concerns and many medium-term concerns.

All technical areas are vulnerable to the current funding uncertainties. The problem will not be solved by short-term increases in R&D funding by the utilities. The original COG arrangement for organizing and administering jointly funded R&D programs provided medium-term stability. The Panel recognizes that the arrangement was not perfect, but believes that the cuts to COG funding have been far too severe, and agrees with the conclusion of the COG review team that "the R&D capability of the industry has in many instances fallen to critical threshold levels and is vulnerable to small reductions in funding."

An overall recommendation of the COG project review team is that " the industry must implement, in the near term, an increase in funding to the R&D programs to ensure that adequate core capability is maintained in key areas." In the opinion of the Panel, this increase in funding has to be committed for more than one year at a time to be effective, recognizing the need for periodic review to ensure efficiency. Given the income generation and operating costs of the nuclear plants of the utilities compared to AECL's budget, it is clear that the utilities, particularly OPG, can and must have a medium-term perspective when considering R&D expenditures.

Recommendation 2

The Panel recommends that AECL develop with COG and CNSC an industry-wide process for succession planning for human resources in key technical areas.

3.3 CNSC ASSESSMENT OF THE CHANGING R&D ENVIROMENT

A recent paper [3] from the Directorate of Reactor Regulation of the CNSC discusses how the situation with regard to funding of R&D has evolved in Canada over the past five years and outlines how the CNSC has responded to the changing environment. An important response was the request by the President of the CNSC that licensees present their plans for longer term R&D and maintenance of the R&D infrastructure. This request led to the COG R&D Capability Review [1] discussed above, which in the opinion of the Panel is a good first step in solving the problem.

CNSC has asked the licensees how they intend to respond to the issues identified in the Capability Review. In the aforementioned CNSC paper [3] it is acknowledged that "there are no easy solutions to the issues identified (above). One of the difficulties is that the problem is perhaps too large and complex for any single organization to address." Although this is true, the Panel strongly supports the CNSC view that "the first step is for all stakeholders (licensees, government, R&D providers, and regulator) to openly recognize that the problem exists, and to reach a common understanding of its nature and depth. In doing so, agreement must be reached on the roles and responsibilities of each stakeholder, in particular with regard to funding and maintenance of the infrastructure." Achieving this agreement will be difficult; not achieving it soon will further undermine the ability of AECL and the licensees to maintain the core capability they need to support existing plants in Canada or overseas, and will also undermine AECL's role as a reactor vendor.

REFERENCES

1. CANDU Owners Group, "CANDU Research and Development Capability Review (R1) Report COG-00-204-I, March 2000

2. German Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi) Working Group Report "Nuclear Reactor Safety and Repository Research in Germany" January 21, 2000

3. Newland D. B., Research and Development Capability for Safety and Licensing of Nuclear Power Reactors in Canada. CNSC paper. Senior Regulators Meeting, September 2000

CHAPTER 4: ADVANCED CANDU REACTORS PART 1: THE NEXT-GENERATION CANDU REACTOR (NG-CANDU)

4.1 INTRODUCTION

Designs of current CANDU reactors have been optimized on the basis of neutron economy so as to extract the maximum energy possible from natural uranium fuel. This traditional approach has resulted in very low fuelling costs but high capital costs. Currently, the overnight capital cost[6] of a CANDU-6 reactor is about $1850/kW[7] [1]. While this high capital cost has been acceptable for utilities under public-financing conditions, for AECL to continue to compete under the growing private-financing conditions of today requires that the overnight capital cost of a CANDU reactor be reduced by about a third, to about $1200/kW. Even where public-utility financing is still predominant, there are requirements for reductions in reactor capital costs. For example, China has set a criterion for new nuclear capacity that the capital cost be competitive with that of coal-fired plants, about $1200/kW [1].

While the current CANDU is very competitive with other commercial reactor types, the power plant of choice today for new generation capacity by utilities in many parts of the world is the combined-cycle gas turbine (CCGT). The CCGT has overnight capital costs of about $500 to $600/kW and short construction periods (2-3 years), both contributing to very low financial risk. In spite of its much lower fuelling costs, the current CANDU design cannot compete now with CCGT technology under private financing conditions [1, 2].

In the summer of 1999, AECL began an initial assessment of the potential for capital cost reduction of the CANDU design. This assessment indicated considerable potential for such reduction without requiring new long-term research and development programs. A conceptual design and development program was begun in November 1999, and it has already shown that it should be feasible to achieve a capital cost reduction of at least 30% for a soundly based Next-Generation CANDU (NG-CANDU) design that could be market-ready by 2005 [3].

This Chapter describes the key parameters of the NG-CANDU design, reviews and assesses the needed research and development program, and provides recommendations on that program.

4.2 OBJECTIVES FOR THE NG-CANDU DESIGN

The NG-CANDU design is to retain the key CANDU characteristics that underlie its success to date. These characteristics, as discussed in the Panel's 1996 Report, are:

- heavy water moderator, separate from the coolant;

---

[6] Overnight capital cost includes all capital costs except the contribution of interest during construction, which depends greatly on the construction period and any delays resulting from regulatory or financing issues.

[7] All costs cited in this chapter are in U.S. dollars

- horizontal pressure-tube fuel channels; and
- on-power fuelling with short fuel bundles.

The retention of the heavy water moderator maintains excellent neutron economy in the NG-CANDU design, even though the design is not optimized for this parameter. The retention of these key characteristics permits flexibility in the design and application of NG-CANDU; there is no need to adopt revolutionary approaches to achieve significant advances in the technology [3].

The primary objective of the NG-CANDU design is to reduce capital costs by at least 30%. With this reduction, and additional design improvements to reduce operating costs, the levelized unit energy cost of a NG-CANDU would be competitive with those of next-generation CCGT designs under private-financing conditions for an expected range of future natural gas prices [1, 3].

Other objectives for the NG-CANDU design that will make it even more attractive to customers are [3]:

- fuel-cycle flexibility;
- enhanced passive safety features; and
- enhanced operability and maintenance.

Short-term objectives are to define a conceptual design for NG-CANDU by the end of 2000 and to establish a plan for introducing this design into the market.

An important aspect of the evolutionary nature of the modifications for the NG-CANDU is that many of them can be applied to new projects for current CANDU designs to provide improved performance and reduced costs.

4.3 THE NG-CANDU DESIGN

4.3.1 Methodology for Optimized Design

The initial step in the methodology developed to meet the financial target is to optimize the reactor core to ensure that the maximum power can be extracted for given moderator and fuel inventories and coolant flow rates. The flexibility and the modular nature of the CANDU reactor facilitate this initial step. In the next step, the heat transport system and turbine-generator are optimized to accommodate the total core power. Finally, process systems, containment and auxiliaries are matched to the new core and heat transport system designs. Furthermore, additional passive safety features as well as enhanced operability features have been incorporated in the NG-CANDU design.

4.3.2 Key Parameters of the NG-CANDU Design

- Fuel and Fuel Bundle

At the heart of the NG-CANDU design is the use of 1.5% enriched fuel instead of the natural uranium in conventional CANDU reactors. The advantages of the use of such slightly enriched uranium (SEU), described by Torgerson et al [4], have also been discussed in several previous Panel

Reports (1992-1996). The enriched fuel increases the burnup by a factor of about three compared to natural uranium, actually increasing slightly the energy produced per kilogram of uranium mined and reducing the amount of high-level waste handled as well as reducing the fuelling machine duty cycle.

The benefits of fuel enrichment are made possible because of the development by AECL of the CANFLEX fuel bundle design [3], as discussed in the Panel Reports for 1995 and 1999. The CANFLEX bundle design reduces fuel temperatures and fission gas releases for the same bundle power compared to the standard 37-element bundle, which permits the high burnup possible with enriched fuel. In addition, the improved thermalhydraulic performance of the CANFLEX bundle raises the critical power of the bundle, enabling higher bundle power for the same critical power margin.

- Coolant

The NG-CANDU uses light water instead of heavy water coolant. The elimination of heavy-water coolant results in a significant reduction of capital cost, overcoming the increased cost of enriching the fuel, and has the benefit of simplifying and thus reducing the cost of the primary heat transport system and the heavy-water leak-recovery and upgrading system. In addition, reduced heavy-water leakage reduces the likelihood of radiation doses to plant operators from tritium.

- Fuel Channel

The enriched fuel permits an increased pressure-tube thickness that will reduce hydride concentration and has the potential to reduce axial and diametral creep, thus providing confidence that a twenty-year pressure-tube life can be guaranteed. Provision for quick replacement of pressure tubes is also incorporated in the design.

- Thermodynamic Cycle Efficiency

The increased pressure-tube thickness permits higher coolant pressure and temperature. The higher coolant temperature permits higher thermodynamic cycle efficiency, which reduces fuelling costs and also reduces unit capital costs by increasing electrical power output for a given core thermal power.

- Radial Power Distribution

The radial power distribution across the reactor is flattened significantly by the peaking of the thermal neutron flux in the reflector, which raises the power in the outer channels, and by fuelling the SEU bundles more frequently in the outer channels than in the inner ones [3, 5], which is made possible by on-power fuelling. Flattening the core radial power distribution means that about 40% fewer channels can be used for a given total power in NG-CANDU than in CANDU-6. The reduction in the number of fuel channels also results in a significant reduction in total primary coolant flow rate, reducing the sizes of main coolant pumps and piping and thus their capital costs.

- Coolant Void Reactivity and Design Implications

With the light water coolant, it is necessary to reduce lattice pitch (centre-line spacing of fuel channels) more than 20% to reduce coolant void reactivity (CVR) so as to avoid an excessive power surge in a loss-of-coolant accident. The reduced lattice pitch results in a significantly reduced CVR compared to a conventional CANDU-6; this reduces the power surge in a large loss-of-coolant accident by about 40%, thus enhancing the inherent safety of the NG-CANDU design. The reduction of lattice pitch requires modification of the channel end-fittings and feeder connections and layout as well as reactivity-control mechanisms. Also, the fuel-channel seal-plugs and the fuelling-machine snout will have to be redesigned to accommodate the closer channel spacing as well as the higher primary-system pressure and temperature. Fortunately, an improved bore-seal design has been spun off from the CANDU-X concept activities, as described in the 1999 Panel Report and in Chapter 4, Part 2 of this Report. Furthermore, the bore-seal design permits end-fitting and fuelling-machine snout designs that accommodate the desired closer spacing of the fuel channels. These modifications will reduce the capital costs of these components.

- Heavy Water Inventory

The reduction of the number of fuel channels and the lattice pitch results in significant reductions in calandria diameter and moderator inventory. The reduction in the amount of heavy water required for the moderator plus the elimination of heavy water as a coolant results in a heavy-water inventory less than one-quarter of that in a CANDU-6. Since heavy water represents a significant fraction of the capital cost of a CANDU, as discussed in the Panel Reports for 1996, 1997 and 1999, the reduction of heavy-water inventory for the NG-CANDU results in a significant reduction in capital cost.

- Calandria and Shield Tank

The reduction in calandria diameter reduces the shield-tank diameter accordingly. The significant reduction in core and shield-tank size, coupled with changes to the channel end-fittings and feeders, introduces the possibility of a shop-built core plus shield-tank structure, which would reduce capital costs and construction times.

- Fuelling Machine Design

It is currently proposed to use a single fuelling machine rather than two as in current CANDU designs, thus reducing capital costs. Also, the fuelling machine will be re-designed as a lighter, simpler, lower-cost device that will be easier to maintain.

- Containment Building

The reductions in reactor core and shield-tank sizes and primary pumps and piping sizes, the simplification of the heavy-water recovery and upgrading system and the corresponding size reductions and simplifications of auxiliary systems permit a reduction in the size, and thus capital cost, of the containment building.

- General

To date, the net result of this optimization process is an estimated reduction in total capital cost for the NG-CANDU design of about 30% below that of a CANDU-6. Equally important, this process has not identified any design or development problems that would be expected to prevent market readiness by the second half of this decade. The process is ongoing and the needed research and development program to achieve these objectives is now being defined in detail and is discussed and reviewed in Section 4.4 of this Chapter.

4.3.3 Enhanced Passive Safety for NG-CANDU

As discussed in the 1995 Panel Report, the CANDU reactor design incorporates certain passive safety features that help to ensure that it meets all domestic and international safety requirements. The NG-CANDU design will incorporate additional passive safety features being developed by AECL for conventional CANDU designs, including passive components in the emergency coolant injection system, moderator heat removal by natural circulation, containment heat removal by natural circulation of containment atmosphere and cooling water, self-actuating catalytic recombiners to remove hydrogen from containment under accident conditions, and a double containment barrier.

The incorporation of these passive safety features will reduce the overall capital costs of these safety systems because of simplification and the removal of pumps, blowers and their motors and controls.

The combination of current passive safety features, such as the moderator heat sink, the two independent shutdown systems and the additional passive safety features ensures that the NG-CANDU will be able to meet or exceed the safety targets of the European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants (EUR). The prime requirement of the EUR is that there should be no off-site consequences in terms of evacuation or sheltering under design-basis accident conditions. Meeting the EUR targets will enhance the international marketability of the NG-CANDU.

4.3.4 Enhanced Operability of NG-CANDU

Based on a comprehensive assessment of the critical components, systems and structures in CANDU reactors, AECL is developing, for incorporation in NG-CANDU, advanced diagnostic technologies for monitoring the status of, and predicting future conditions of, the most important plant systems. These include a technology that monitors and displays current plant data and uses computer models and historic databases to predict future plant conditions and ultimately to provide feedback control of certain parameters. Another technology will provide similar capabilities for critical plant components. Future technologies will assess channel power margins, allowing plant optimization as the plant ages.

Improved operability from the application of these technologies will enable the NG-CANDU design to meet the EUR capability-factor target of greater than 87% over 40 years. The EUR also requires that there be no major refurbishment of a plant over this period. The NG-CANDU design, allowing quick replacement of fuel channels after 20 years if necessary, will enable this requirement to be met.

4.4 RESEARCH AND DEVELOPMENT REQUIREMENTS FOR THE NG-CANDU

To meet the market-ready target date of 2005 for NG-CANDU, it is evident that any research and development programs required for market-readiness must be short-term ones. The tight schedule requires that R&D be undertaken in parallel with the engineering design. NG-CANDU will build on the generic R&D already in existence to support current CANDU designs. AECL has re-organized current R&D programs and has added new programs to support NG-CANDU, with priority assigned to the R&D needed to resolve concept-viability issues.

The major new features of the NG-CANDU design have been described in Section 4.3. The R&D programs needed to support the design and optimization of these features are outlined in the following sections of this Chapter.

4.4.1 Fuel and Fuel Bundles

The results of the irradiation of 24 natural uranium CANFLEX bundles in Point Lepreau and the results of other tests, such as critical heat flux (CHF) tests of simulated natural uranium CANFLEX bundles in water, demonstrate that the CANFLEX bundle design using natural uranium fuel is market ready. It will be necessary to bring CANFLEX bundles using SEU to the same level of demonstration as natural-uranium CANFLEX bundles by 2005.

The major requirement is to demonstrate the desired high burnups with SEU fuel in CANFLEX bundles in the NRU reactor by 2005. It is estimated that about three years will be required for these irradiations. With NRU scheduled to remain in service until 2005, enough time is available to complete these irradiations, provided that test bundles are ready within the next year or so. AECL is beginning work immediately on the design, procurement and fabrication of test bundles. CANFLEX-SEU bundles will also be needed for physics tests, including mid-burnup tests, in the ZED-2 reactor at CRL. Tests of the CANFLEX bundle design with simulated fuel will be needed for critical heat flux, vibration and endurance testing under NG-CANDU conditions.

Work should start as soon as possible to assess, modify and validate computer codes for thermalhydraulic, mechanical and reactor physics design and safety analysis of CANFLEX-SEU fuel bundles under NG-CANDU conditions, as well as for reactor physics codes for NG-CANDU core design and safety analysis.

4.4.2 Fuel Channels and Related Components

The other major R&D challenge is to bring to market readiness, by 2005, a fuel channel design, including bore seals, end-fittings and feeders, suitable for NG-CANDU conditions, including the higher temperature and pressure and the smaller lattice pitch. The most urgent fuel-channel R&D program is irradiation testing of the thicker pressure tube for various purposes in Osiris (France), in Halden (Norway) and in NRU. AECL has started planning for these tests. The R&D program must also demonstrate that a rapid full-scale retubing of the reactor at 20 years is possible, to meet the EUR capability factor target.

Other urgent fuel channel-related R&D is needed for the pressure tube/end fitting joint, the end fitting, the bore seal closure and the thicker, larger diameter, seamless calandria tube.

Other somewhat less urgent R&D associated with the fuel channel consists of testing the fuelling-machine closure, annulus spacer, calandria tube/end-fitting rolled joint, feeder coupling, end-fitting bellows and other components.

4.4.3 Components and Systems

The NG-CANDU design incorporates a number of modified systems and new components, which must operate under higher pressure and temperature and other conditions more restrictive than in present CANDU designs. Key areas involving R&D are the fuelling machine, reactivity-control devices, coolant chemistry monitoring and control, and materials selection. Much of the R&D for components and systems is closely related to design development, including confirmatory testing of design solutions. For this reason, the testing programs will evolve and expand as the design develops and the new NG-CANDU components become better defined.

Work to develop and qualify the improved fuelling machine and its key related components has been given high priority by AECL. The Panel is aware that development of the new fuelling machine concept is already in progress and members of the Panel have observed a demonstration of some of the elements of the new design. The Panel strongly supports the priorities given to this work.

AECL is working with Hitachi to establish the design for the balance of plant. Since the NG-CANDU steam generator and steam turbine conditions are close to those in Pressurized Water Reactors (PWRs), there is ample experience at NG-CANDU conditions for these two major balance-of-plant components.

4.4.4 Control and Instrumentation

As in the case for systems and components, the emphasis for the control and instrumentation area is on development closely integrated with the design process. The control and instrumentation design for NG-CANDU will take advantage of the generic work in support of recent CANDU-6 and CANDU-9 designs, in particular developments in integrated computer-aided engineering, design, procurement, construction, commissioning and information-management tools. The use of such tools will reduce costs and shorten schedules for the NG-CANDU.

Specific areas where work is in progress include an advanced control room design, real-time neutron-flux mapping and channel flow monitoring, new failed-fuel detectors, improved cable and wiring technology, and new on-line system health monitors to assess plant ageing and improve plant operability.

4.4.5 Safety Technology

Safety technology R&D is required to ensure that NG-CANDU can meet the EUR targets for nuclear power plant safety, mentioned in Section 4.3.3 above, as well as all the requirements of the

Canadian Nuclear Safety Commission. Development of the new passive safety features for the NG-CANDU design will be needed.

The behaviour of the modified fuel channel in a loss-of-coolant accident combined with failure of the emergency core-cooling system must be investigated to demonstrate that the moderator can still function as an effective passive heat sink, preventing fuel melting in such an accident. Guillotine failure tests of the new pressure tube will be needed to demonstrate the effectiveness of the new end-fitting restraint design and the failure characteristics of the new calandria tube design.

A key element of safety technology for the NG-CANDU, a set of validated computer codes required for safety analysis and licensing, is discussed in Chapter 7 of this Report. The approach planned for safety analysis for the NG-CANDU, a best-estimate methodology combined with probabilistic uncertainty analysis, is also described in Chapter 7.

4.4.6 Emissions and Waste Management

There are a few areas related to emissions and waste management in which development work will be needed for NG-CANDU. These lower-priority areas include a validated atmospheric dispersion model for radiological emissions, a methodology for treating radiological doses to biota, a methodology to remove spent resins from the plant, and improved treatment technologies to minimize waste water and chemicals releases from the plant.

4.4.7 Major R&D Facilities for NG-CANDU

A number of existing facilities can be used for the R&D needed for NG-CANDU, although several will require at least some modifications to meet NG-CANDU conditions. The availability of certain facilities is uncertain in the long term: NRU, Stern Laboratories facilities and five facilities at Whiteshell Laboratories. In particular, the availability of the RD-14M thermalhydraulic facility at Whiteshell is of concern. This facility, which is to be used for validating the CATHENA program for NG-CANDU conditions, will also require extensive modifications to provide these conditions and will probably not be available after 2004.

Major modifications are also needed to the Moderator Test Facility at CRL because of the significant reductions in calandria diameter and fuel-channel spacing, the modifications to the control devices, and the passive moderator-cooling design. This work is scheduled to start next year.

The Panel has learned that three of the present facilities at Whiteshell Laboratories are to be transferred to CRL. The Panel believes that the transfers of two of these, the small burst facility and the fuel-channel high-temperature facility, must be made as soon as possible to ensure that the pressure tube R&D program schedule is maintained. The transfer of the third facility, the core disassembly facility, is not so urgent.

The Panel has noted that four new major facilities will be needed, as outlined below.

a) A large-scale materials test facility is required at CRL to investigate the behaviour of new materials for use in the primary heat transport system under NG-CANDU conditions of

temperature and pressure and with sensitive water chemistry monitoring and control. See Section 4.4.3 above.

b) A full-scale facility for mechanical, vibration, drop, endurance and, possibly, seismic tests of the new control devices, required because of the close spacing of the fuel channels.

c) A facility at CRL for developing and testing the Passive Emergency Water System (PEWS) for heat removal from containment following a loss-of-coolant accident.

d) A facility for investigating the natural circulation of steam/air mixtures in containment following a loss-of-coolant accident to help validate the generic GOTHIC computer program for NG-CANDU accident conditions.

In some cases facilities for some of the R&D requirements have not been identified. The Panel assumes that such cases remain open to review as the NG-CANDU design is developed and as the R&D program proceeds.

4.5 NG-CANDU AS A GENERATION-4 REACTOR DESIGN

The term "Generation-4 reactor" applies to innovative future reactor designs. Generation-4 reactors are to be very competitive in both capital and operating costs with alternative electrical generation systems, in particular with combined-cycle gas turbines, to have enhanced safety, to have reduced waste production, to be proliferation resistant, and to be deployed over the next 20 years.

The NG-CANDU design is recognized as a Generation-4 reactor design and is the basis of Canada's participation in the international Generation-4 activities. A Generation-4 International Workshop was held in January 2000, with government representatives from Argentina, Brazil, Canada, France, Japan, Korea, South Africa, UK and the USA. The Workshop established a technical group to discuss Generation-4 reactor technology and make recommendations on potential multilateral cooperation. Later in 2000, a meeting of the governments involved will discuss the recommendations of the technical group.

The Panel strongly endorses the participation of AECL in the international Generation-4 Reactor activities, via the NG-CANDU design, and supports the AECL position on the nature of international co-operation in these activities, i.e., that co-operation be pursued on generic issues, rather than specific designs, and through the Nuclear Energy Agency or other international bodies. Such international co-operation is consistent with recommendations made in previous Panel Reports for co-operation on supercritical water (SCW) technology for the CANDU-X with Japanese and Russian researchers in this area.

4.6 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The Panel has reviewed the evolution and optimization of the NG-CANDU design and has concluded that there is a high probability that the target reduction of about 30% in CANDU capital costs below those of a CANDU-6 design can be achieved by this design and that there do not appear to be any insuperable barriers to achieving this goal. The Panel has also concluded that, given

adequate financial and human resources, it should be possible to have the NG-CANDU ready for market by the second half of this decade.

While NG-CANDU will build on the generic R&D already existing to support current CANDU designs, it is evident that current R&D programs must be revised and new programs must be undertaken to ensure that the ambitious goals for NG-CANDU can be met. The Panel is encouraged to find that some of these activities are well underway. Considering that the concept of the NG-CANDU design was first proposed only about a year ago, the progress on the project has been remarkable. The Panel has concluded that the R&D program for NG-CANDU has been well planned and that priority has been properly assigned to the R&D needed to resolve the concept viability issues.

As noted above, the success of the NG-CANDU program depends on the provision of adequate financial and human resources. The Panel recognizes that AECL is well aware of this fact and is in the process of re-directing existing resources for this purpose. The Panel believes that considerable additional resources will be essential to ensure that the NG-CANDU goals can be achieved. The Panel notes that the Technology Issues Table, one of the several Issues Tables set up as part of the Canadian response to its Kyoto commitments on greenhouse gas emissions as discussed in Chapter 2 of this Report, has recommended in its final report that funding for nuclear energy be increased by $30 million annually because of its contributions to the reduction of GHG emissions [6]. Of this amount, the report recommends that $10 million be applied annually to R&D on CANDU technology.

Recommendation 1

The Panel recommends that AECL pursue vigorously the additional R&D funding for CANDU technology recommended by the Technology Issues Table for application to the NG-CANDU R&D program.

In the Panel's view, the key element in achieving a marketable NG-CANDU design by 2005 is the timely availability of the major test facilities needed for the R&D program as discussed in Section 4.4.7. Three of the facilities require significant modifications, three need to be transferred to CRL from Whiteshell Laboratories, four have their longer-term availability in question, two are located in foreign countries and four do not now exist and have to be designed and built.

Recommendation 2

The Panel strongly urges AECL to give the highest priority in the NG-CANDU project to activities designed to ensure that the major test facilities are available as required to meet the goals of the NG-CANDU R&D program.

One of the main concerns about the availability of major test facilities is the possible shutdown of NRU before 2005. Once the second MMIR reactor is available for producing radioisotopes, the full

cost of operation of NRU will have to be borne by AECL. Furthermore, the CNSC may be less willing to permit continued operation of NRU when it is no longer needed for isotope production.

Recommendation 3

The Panel recommends that AECL begin exploring the possibilities for tests of CANFLEX-SEU fuel bundles and for the evaluation of NG-CANDU pressure tube designs in other research reactors, in case NRU is shutdown prematurely.

The Panel believes that a key issue for AECL is to determine whether it might be more efficient to design and build a new thermalhydraulic facility for safety research at Chalk River Laboratories rather than up-grade the RD-14M facility, which will probably not be available beyond 2004. The vital question is whether the necessary validation of CATHENA for NG-CANDU conditions can be done in the new facility and still meet the target date of 2005 for NG-CANDU market readiness. In either case, the schedule is tight and the challenge is great.

Recommendation 4

The Panel strongly recommends that AECL assess, as soon as possible, the option of designing and building at CRL a thermalhydraulic loop for the validation of CATHENA for NG-CANDU conditions, as an alternative to the significant modifications required for the RD-14M loop at Whiteshell Laboratories for this purpose.

A key factor in having the NG-CANDU ready for the market in 2005 is the issuing of a statement of licensability of the NG-CANDU in Canada from the Canadian Nuclear Safety Commission. To be able to offer the CANDU-9 design in the international market, such a statement was obtained from the former Atomic Energy Control Board after an intensive two-year review of an "up-front" licensing process. Considering that the NG-CANDU design embodies some significant departures from past CANDU practice, that the design will be evolving over the next few years and that much new R&D will be required, it is very likely that the process leading to the issuing of a licensability statement will take longer than two years.

Recommendation 5

The Panel recommends that AECL begin as soon as possible to develop with the CNSC an "up-front" licensing process with the objective of obtaining a statement of licensability of the NG-CANDU from the CNSC by 2005.

The Panel is aware that an important step towards the acceptability of the CANFLEX-NU fuel bundles in current CANDU reactors is the irradiation of 24 CANFLEX bundles in the Point Lepreau reactor and the subsequent post-irradiation inspection. To demonstrate the market readiness of NG-CANDU, it may be necessary for AECL to arrange for the irradiation in a power reactor of CANFLEX-SEU bundles. Such an irradiation would be considerably more difficult than that for the

CANFLEX-NU bundles because of the presence of enriched fuel in one channel of a natural-uranium fuelled CANDU core.

Recommendation 6

The Panel recommends that AECL investigate the need to irradiate CANFLEX-SEU bundles in a power reactor, similar to that of the irradiation of CANFLEX-NU bundles in Point Lepreau, to demonstrate the market readiness of NG-CANDU. If it is deemed necessary, AECL should begin planning for such an irradiation as soon as possible.

The Panel has noted, as mentioned in Section 4.4.7, that facilities for some of the NG-CANDU R&D requirements have not been identified. The Panel assumes that such cases remain open to review as the NG-CANDU design is developed and as the R&D program proceeds.

Recommendation 7

The Panel recommends that AECL continue to review the needs for test facilities as the NG-CANDU design is developed and the R&D program proceeds and take prompt action to provide any facilities identified as necessary.

REFERENCES

1. Hancox, W.T., The International Market for Nuclear Energy: An AECL Perspective, Conference on Future of Nuclear Energy in Canada, Carleton University, Ottawa, September 30, 1999

2. Torgerson, D.F., Reducing the Cost of the CANDU System, Proc. Canadian Nuclear Society Climate Change Symposium, November 19, 1999

3. Torgerson, D.F., Next Generation CANDU Technology, Proc. Canadian Nuclear Society Annual Conference, June 12-14, 2000

4. Torgerson, D.F., P.G.Boczar and A.R.Dastur; CANDU Fuel Cycle Flexibility, Pacific Basin Nuclear Congress, May 1996

5. Dastur, A.R., and P.S.W.Chan; The Role of Enriched Uranium in CANDU Power Plant Optimization, IAEA Technical Committee on Advances in Heavy Water Reactors, June 1993

6. Enhancing Technology Innovation for Mitigating Greenhouse Gas Emissions, Technology Issues Table Final Report, December 10, 1999

CHAPTER 4: ADVANCED CANDU REACTORS PART 2: THE CANDU-X REACTOR CONCEPT

4.7 INTRODUCTION

The CANDU-X concept is AECL's long-term vision of a revolutionary reactor designed to achieve 50% reductions in both capital and operating costs below those of current CANDU reactors, while retaining the essential features of the CANDU design.

The Panel reviewed the development of the CANDU-X concept in its 1996, 1997 and 1999 Reports. As explained in those reports, the purpose of the concept is to challenge AECL engineers and scientists to focus long-term R&D efforts to support the development of the concept to meet the ambitious cost goals. While the CANDU-X may never be built as such, spin-offs from the supporting R&D should benefit the evolution of the CANDU, as has already occurred with the new bore-seal design for fuel channel closure.

In addition to such specific technical spin-offs, the Panel believes that the significant advance represented by the Next Generation CANDU (NG-CANDU) program, as described in Chapter 4, Part 1, is a direct result of the untrammelled thinking encouraged by AECL's CANDU-X strategy. This strategy has helped to maintain the international credibility of AECL as a forward-thinking reactor designer, with the NG-CANDU design being recognized as a Generation-4 reactor, as discussed in Chapter 4, Part 1.

Recent developments in the CANDU-X concept are summarized in Reference [7] by S.J.Bushby et al. of AECL. The Panel notes with pleasure that these authors were awarded the prize for the best paper presented at the 8th International Conference on Nuclear Engineering, at Baltimore, Maryland in April 2000, and extends its congratulations to the authors. This award reflects international recognition of the significance of AECL's CANDU-X program.

4.8 CANDU-X CONCEPTUAL DESIGNS

As discussed in the Panel's 1997 and 1999 Reports, the CANDU-X coolant is supercritical water (SCW), at a nominal outlet pressure of 25 MPa, compared to an outlet pressure of 10 MPa in current CANDU designs and 13 MPa in the NG-CANDU design. In the latest concepts, core outlet temperatures range from about 400°C to 625°C, compared to 310°C in current CANDU reactors and 330°C in the NG-CANDU design.

There are four CANDU-X preliminary conceptual designs described in Reference [7] and an additional CANDU-X design has been described to the Panel, the CANDU-X Direct Cycle (CANDU-X DC). Certain key parameters for these designs are listed in Table 4.1, where they are compared to those for a current CANDU-6. AECL has been working with the commercial organizations Hitachi (very-high-pressure (VHP) turbines) and Babcock & Wilcox (high-pressure steam generators) in the development of these designs.

TABLE 4.1

COMPARISON OF PRELIMINARY CANDU-X CONCEPTUAL DESIGNS

PARAMETER	CANDU-6	CANDU-X MK 1	CANDU-X NC	CANDUal-X1	CANDUal-X2	CANDU-X DC
T_{in}	266	380	350	312	353	330
T_{out}	310	430	400	450	625	430
Eff'y	35	41	40	40.6	45	NA
P_{ch}	5.4	6	4	7.8	8.5	NA
M_{ch}	20.3	6.7	4.2	5.0	4.4	NA
Fuel	NU	NU	SEU	SEU	SEU	SEU

T_{in}: Reactor inlet temperature, °C
T_{out}: Reactor outlet temperature, °C
Eff'y: Cycle gross efficiency, %
P_{ch}: Average channel power, MWt
M_{ch}: Average channel flow rate, kg/s
NU: Natural uranium
SEU: Slightly enriched uranium (1.5%)
NA: Not available

The CANDU-X concepts can be matched, with some restrictions, to applications with very different power requirements, while maintaining low unit capital costs. This can be achieved because of the modular nature of the CANDU-X, by varying not only the number of fuel channels but also the average channel power. As indicated in Reference [7], the electrical power output of the design concepts range from about 370 MW to about 1150 MW.

The increased reactor outlet temperatures of the design concepts, compared with those in a conventional CANDU reactor, result in the higher cycle efficiencies shown in Table 4.1, providing greater electrical power for a given reactor thermal power, thus reducing unit capital costs. The concepts also take advantage of the high specific heat of SCW in the vicinity of the pseudo-critical temperature[8] to reduce channel flow rates, and thus pressure drops, significantly from those of a CANDU-6, as shown in Table 4.1. The result is a significant reduction in primary pumping power compared to that of a CANDU-6 and thus greater net power output, again reducing unit capital costs.

4.8.1 CANDU-X Mark 1

The CANDU-X Mark 1 design is very similar to the Mark 1 design discussed in the 1997 Panel Report and described in Reference [8]. It consists of an indirect cycle with a high-pressure steam generator producing steam for a very-high-pressure turbine, with inlet pressure and temperature

[8] The pseudo-critical temperature at a given supercritical pressure is that temperature at which the specific heat reaches a maximum and the rates of change of the other properties with temperature reach maximums. For 25 MPa, the pseudo-critical temperature is 285°C.

of 19 MPa and 400°C respectively, exhausting into a conventional turbine set that operates under typical LWR conditions. Key design decisions for the CANDU-X Mark 1 are the use of natural uranium versus slightly enriched uranium (SEU) fuel and the use of heavy water versus light water coolant[9] (see Chapter 4, Part 1 for discussions of these questions).

The high heat transfer coefficients associated with SCW coolant result in low fuel sheath temperatures, so that Zircaloy can still be used for fuel sheaths in the CANDU-X Mark 1 design, in spite of the higher coolant temperatures compared with that in the CANDU-6 reactor.

4.8.2 CANDU-X NC

The CANDU-X NC indirect-cycle design, discussed in the 1999 Panel Report as well as in Reference [7], employs natural circulation of the coolant in the primary system rather than a pump-driven flow. This eliminates the need for primary pumps, thus reducing both capital and operating costs, and enhances passive safety, since a Loss-of-Flow Accident resulting from pump or motor failure is excluded.

Natural circulation of the coolant is feasible because of the high specific heat and large density variation with temperature of SCW in the vicinity of the pseudo-critical point. The high heat transfer coefficients in the vicinity of the pseudo-critical temperature mean that the fuel sheath temperature can be kept low, in spite of the low coolant flow rate, so that Zircaloy can still be used for the fuel sheaths.

The driving force necessary for the natural circulation flow is best provided by a horizontal steam generator located well above the reactor core. Horizontal steam generators, which may reduce containment size and costs, are used in Russian VVERs and are being considered in a Japanese reactor design.

Thermalhydraulic studies for the CANDU-X NC show the need to limit the core outlet temperature to about 400°C and the average channel power to about 4MW, as given in Table 4.1, because of the limited driving force available with natural circulation flow and the need to avoid flow instability[10]. Because of the low average channel power for the CANDU-X NC, this design is most suitable for applications in which the station power requirements are relatively low, e.g., an output of 370 MW for the case in Reference [7].

4.8.3 CANDUal-X1 and CANDUal-X2

These two dual-cycle concepts involve direct expansion of the reactor outlet SCW coolant in a VHP turbine combined with indirect power cycles or cogeneration applications such as discussed in the Panel's 1997 Report. The cycle efficiencies shown in Table 4.1 are based on the use of indirect power cycles.

---

[9] Note that the Mark 1 design shown in Table 4.1 assumes natural uranium fuel (and thus heavy water coolant), as might be favored by certain customers.

[10] The possibility of the occurrence of flow instability with SCW coolant was pointed out by the Panel in its 1997 Report and has been demonstrated analytically by Chatoorgoon [3].

In these concepts, the VHP turbine is to be located within containment with the exhaust from the VHP flowing to the primary side of steam generators also located within containment. The advantages of these designs are that the radioactive coolant remains entirely within containment, the use of steam generators operating at very high shell-side pressure is avoided, and proven VHP turbine technology from SCW fossil-fuelled plants is employed. The CANDUal-X2 design permits higher temperature co-generation applications such as coal gasification.

The CANDUal-X1 design allows the use of Zircaloy fuel sheaths while nickel or ceramic material will be needed for the fuel sheaths for the CANDUal-X2 design. To reduce fission-gas pressures, thorium oxide fuel may be needed to limit fuel temperatures.

4.8.4 CANDU-X DC

In the CANDU-X DC concept, a complete direct cycle is used with the VHP turbine exhaust feeding into a conventional Boiling Water Reactor (BWR) high-pressure turbine, with expansion completed through conventional BWR low-pressure turbines. The VHP turbine is located outside containment in this case. This concept avoids the need for steam generators altogether as well as steam separators and dryers ahead of the VHP turbine and may be able to avoid the need for steam separation in the turbine expansion process. This results in a very simple design, which may have lower unit capital costs than the other CANDU-X concepts. The cycle is similar to one proposed in Japan for a SCW-PWR.

4.8.5 Advantages of SCW-Cooled CANDU Designs over SCW-Cooled PWR Designs

A SCW-cooled CANDU design has some inherent advantages over a SCW-cooled Pressurized Water Reactor (PWR), such as proposed in Japan and Russia:

- The very high pressure and temperatures with SCW coolant are more easily handled in the small-diameter CANDU pressure tubes, primarily because the pressure-retaining component is at very low temperature with the CANTHERM fuel-channel design [7, 8].

- In the bi-directional flow CANDU-X design, there is no overall coolant and moderator density variation over the core length, unlike the SCW-PWR where the significant coolant/moderator density variation over the core length results in a large variation of reactivity, leading to reactor control problems.

- The on-power fuelling in a CANDU-X results in much smaller swings in coolant density, and hence reactivity, with burnup than the batch fuelling in an SCW-PWR.

4.9 R&D ON ENABLING TECHNOLOGIES FOR CANDU-X

Research and development requirements and facilities for the CANDU-X concept were discussed in the 1997 and 1999 Reports of the Panel and additional information is provided in References [7, 8]. Rather than undertake a review of overall R&D requirements for CANDU-X,

which can be found in the above References, this section consists of a discussion of the CANDU-X R&D program for the fiscal year 2000-2001.

4.9.1 Reactor Outline Specifications

The end-product of this activity is a set of conceptual designs to be developed from the preliminary designs shown in Table 4.1. The program for 2000-2001 consists of continuation of the development of the concepts, including interaction with Hitachi and Babcock & Wilcox, investigation of cost reductions from relaxing the neutron-economy constraint as in the NG-CANDU design, and continuation of interactions with international organizations.

4.9.2 Conceptual Plant Layout and Cost Model

The ultimate objective of this task is to develop a conceptual plant layout, with component sizes established, and a cost model for each CANDU-X concept. The program for 2000-2001 consists of development of complete models of the concepts, and exergy[11] and economic analyses to optimize the cycle options.

4.9.3 Internally Insulated Fuel Channel Concept

The internally insulated fuel channel, CANTHERM, is a key component of the CANDU-X concepts, as discussed in the Panel's 1997 Report and in References [7,8]. The objective of the R&D in this area is to produce a CANTHERM design suitable for the range of temperatures in the various CANDU-X concepts. Important design requirements, in addition to insulation effectiveness and adequate mechanical strength and creep characteristics, include minimization of neutron absorption and capability to transfer core heat to the moderator under accident conditions.

The development of the CANTHERM fuel channel can be of significant benefit for conventional CANDU designs as well as for the NG-CANDU design, providing potentially a 60-year life fuel channel. For this reason, the Panel believes that the CANTHERM work should have very high priority in the CANDU-X program.

As described in the above references, a test facility has been designed and built at CRL. It has produced some preliminary data on the effective conductivity of prospective insulating materials.

The CANTHERM program for 2000-2001 consists of tests in the CANTHERM facility at conventional CANDU and NG-CANDU conditions, as well as at CANDU-X conditions, using reticulated (porous) and monolithic (non-porous) ZrO_2 material, and assessment of neutronic behaviour and heat transfer under accident conditions.

---

[11] Exergy of a fluid is a property that is a measure of the maximum theoretical energy that can be obtained by bringing the fluid into equilibrium with its environment. Its use recognizes the limitations to processes resulting from the Second Law of Thermodynamics and permits a much more precise identification of inefficiencies in a thermodynamic cycle than conventional analysis does. The concept has been used previously in analyses of CANDU reactor cycles [4].

4.9.4 Fuel Cycles And Fuel Bundles

The objectives of this task are to develop a fuel bundle for CANDU-X Mark 1 conditions, including provision for single-ended fuelling from the inlet end, and to define fuel-bundle options for the other CANDU-X concepts, for both natural uranium and enriched uranium fuel. This task also involves the definition of acceptable operating envelopes and operating histories.

Specific activities for 2000-2001 are continued investigation of SEU and other LEU (low enriched uranium) options, thorium fuel and pellet designs to reduce temperatures, completion of the first stage experiments on sheath corrosion under SCW conditions, evaluation of mechanical behaviour of zirconium alloys under proposed fuelling strategies, and investigation of sheath materials under the CANDUal-X2 conditions.

4.9.5 Thermalhydraulics, Reactor Physics, and Chemistry

The objectives of work in these areas are to develop heat transfer correlations for the SCW conditions, establish fluid-fluid modelling criteria for interpreting results from the supercritical pressure CO_2 facility, develop a coupled thermalhydraulics-neutronics code, develop channel power envelopes for pumped and natural-circulation flow and develop water chemistry and materials specifications for the heat transport and feedwater systems.

The program in these areas for 2000-2001 consists of measurement of heat transfer coefficients, friction coefficients and flow instability in the small SCW loop and the supercritical CO_2 facility, with development of fluid-fluid modelling criteria for the latter, continuing investigation of flow instabilities in natural circulation and pumped flow, development of water chemistry specifications for both indirect and direct cycles, assessment of possible feeder, steam-generator and feedwater system materials, and material corrosion tests under SCW CANDU-X conditions.

4.10 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The Panel continues to be strongly supportive of the CANDU-X program. As mentioned in Section 4.7, the Panel is convinced that the significant advancement in thinking that has led to the development of the promising NG-CANDU design is a direct result of the CANDU-X program. The new bore-seal design, which originated from the requirements of the CANDU-X, is a key component contributing to the feasibility of the NG-CANDU. This design has led, in turn, to an improved fuelling machine design concept applicable to the NG-CANDU, as discussed in Chapter 4, Part 1.

The Panel endorses the continuation by AECL of interactions on the CANDU-X concept with international organizations. Such co-operation is consistent with recommendations made in previous Panel Reports for co-operation on SCW technology with Japanese and Russian researchers.

The Panel is in general agreement with the objectives of the AECL R&D program on the CANDU-X concept and with the programs for 2000-2001 in the various areas of enabling technology for CANDU-X, as outlined in Section 4.9. While making certain specific

recommendations, as given below, the Panel points out that many of its earlier recommendations for R&D on the CANDU-X concept, as given in the Panel Reports for 1997 and 1999, are still relevant.

As pointed out in Section 4.9.3, the CANTHERM fuel channel design could provide significant benefits to conventional CANDU designs as well as to the NG-CANDU design, by providing a fuel channel with a 60-year life.

Recommendation 8

Recognizing that the CANTHERM fuel channel concept could provide the possibility of 60-year life fuel channels for conventional CANDU reactors and the NG-CANDU design, the Panel, consistent with its previous recommendation about priorities for CANDU-X research, recommends that R&D in support of the CANTHERM fuel channel be given the highest priority within CANDU-X R&D.

As listed in Section 4.9.5, one of the objectives of the R&D in the areas of thermalhydraulics and reactor physics is the development of a coupled thermalhydraulics-neutronics computer code. Because of the significantly different coolant conditions from those in conventional CANDU reactors, the possibility of flow oscillations with feedback to neutronic behaviour, and the sensitivity of neutronic behaviour to lattice pitch at the low lattice pitches required with enriched fuel (see Chapter 4, Part 1), a coupled thermalhydraulics-neutronics code for SCW and CANDU-X conditions is required. Since such a coupled code will also probably be needed for the NG-CANDU design, coordination of the development of these coupled codes should be examined.

Recommendation 9

The Panel recommends that AECL give high priority to the development of a coupled thermalhydraulics-neutronics computer code for CANDU-X design conditions and that consideration be given to coordinating this work with any development of a coupled thermalhydraulics-neutronics code for NG-CANDU conditions.

As indicated in Section 4.9.5, an objective in the area of thermalhydraulics R&D is the development of heat transfer and friction factor correlations for CANDU-X SCW conditions. The high heat transfer coefficients obtained with SCW coolant are generally attributed to the significant variation of property values across the boundary layer. For a steam generator, in which SCW is cooled, the temperature of the boundary layer is lower than that of the bulk fluid, which is opposite to the situation in the reactor. This may have a significant effect on the heat transfer coefficients. From the well-established analogy between heat transfer coefficients and friction factors, there may be a similar effect on friction factors in steam generators.

Recommendation 10

The Panel recommends that heat transfer and friction factor correlations for SCW be developed for steam generators and other heat exchangers in which SCW is cooled.

The CANDU-X concepts may face some unique safety issues, which may generate solutions or methodology relevant to safety issues in conventional CANDU reactors and the NG-CANDU, as the Panel has noted previously about the SCW flow-stability computer code.

Recommendation 11

The Panel recommends that AECL continue to assess safety issues related to the CANDU-X concepts to identify potential solutions or methodology that may have application to conventional CANDU designs and the NG-CANDU design.

REFERENCES

7. Bushby, S.J., G.R.Dimmick, R.B.Duffey, K.A.Burrill and P.S.W Chan; Conceptual Designs for Advanced, High-Temperature CANDU Reactors, Proc. 8th International Conference on Nuclear Engineering, April 2-6, 2000, Baltimore, Maryland, American Society of Mechanical Engineers

8. Bushby, S.J., G.R.Dimmick, R.B.Duffey, N.Spinks and D.J.Wren; Conceptual Design for a Supercritical-Water-Cooled CANDU, Proc. Global 99, paper 172, American Nuclear Society, 1999

9. Chatoorgoon, V., Stability of Supercritical Fluid Flow in a Single-Channel Natural-Circulation Loop, AECL Report FFC-FCT-243, July 1999

10. Rogers, J.T., Optimization of Thermal Energy Supply from Combined-Purpose CANDU Nuclear Reactors, Paper at Second World Congress of Chemical Engineering, Montreal, October 1981

CHAPTER 5: PLANT LIFE MANAGEMENT

5.1 INTRODUCTION

The Panel first addressed the subject of the ageing of CANDU reactors in its Report for 1997, presenting an historical background to the Canadian nuclear program and describing circumstances that led to the decision of Ontario Hydro (as it was then called) to lay up the Pickering A and Bruce A plants for major overhaul. Since then, Plant Life Management (PLIM) issues have assumed a prominent role in the activities of CANDU utilities.

This reflects a worldwide trend as reactor operators strive to generate electricity at minimum cost, especially in the face of competition from other power sources and amidst a trend to market deregulation and privatization. The maximizing of returns on investment implies the assurance - and even extension - of the lifetime of existing plant. The recent re-licensing of several reactors in the U.S. by the Nuclear Regulatory Commission for extended periods reflects an improved regulatory process based on performance indicators and risk analysis but also attests to the success that PLIM measures can have. On the other hand, failure to implement effective PLIM programs from reactor start-up can lead to premature closure because of the high cost of rehabilitation.

In 2000, AECL is more concerned with PLIM issues than it was in 1997. Many of its staff are directly involved in the Pickering A return-to-service (PARS) exercise, progress has been made on an assessment of PLIM for the CANDU-6 reactors mainly through a study at Point Lepreau, and the refurbishment of Point Lepreau is in the planning stage under a joint NB Power-AECL team.

In this report we summarize the activities involving the CANDU-6 reactors, which for the time being mostly constitute AECL's programs with Point Lepreau. Much of the material for the report, in fact, was obtained during discussions with NB Power staff.

5.2 PLANT LIFE MANAGEMENT FOR CANDU-6 REACTORS

After an initial scoping study on the elements of a PLIM program to be applied to the CANDU-6 reactors was undertaken jointly by AECL, Hydro-Québec and NB Power in 1995, NB Power elected in 1998 to continue with AECL in a comprehensive program for the Point Lepreau reactor. Hydro-Québec has recently announced a similar program; Korea Electric Power Corporation expects to enter a program with AECL in 2000, and Nucleoeléctrica Argentina S.A. in Argentina is expressing interest. In Ontario, OPG is executing its own program.

The three major elements of the program at Point Lepreau are:

- assessment of the key Systems, Structures and Components (SSCs), involving evaluation of their current condition and assurance that any degradation mechanisms are understood and being counteracted, consideration of safety and environmental issues, and estimation of costs of replacement or repair;

- review of surveillance, inspection and maintenance procedures to ensure that resources are utilized in an optimum fashion; and

- keeping abreast of developments in the industry in Canada and abroad (Technology Watch) to anticipate new and emerging issues as early as possible.

The R&D support for current CANDU reactors provides information for all three elements, with activities such as the understanding and mitigation of degradation mechanisms and the development of inspection tools being AECL's traditional applied R&D mandate. Conversely, the progress of PLIM programs helps to define the direction of CANDU R&D. Examples of current R&D programs with an immediate impact on PLIM are flow-assisted corrosion in secondary piping, feeder thinning, fuel channel deformation and flaw behaviour, steam generator performance, cable and elastomer ageing, and safety studies relating to ageing.

Fourteen critical SSCs have been identified for the CANDU-6 reactor, though the list will have at least partial application to other CANDU reactors as well. Accordingly, at Point Lepreau, the SSCs being assessed are:

- fuel channels;
- reactor structure;
- containment structure;
- primary heat transport system piping (excluding feeders, which are the subject of a CANDU-wide study because of flow-assisted corrosion - see 1998 Panel Report);
- conventional systems piping;
- steam generators;
- cable systems;
- instrumentation and control components;
- vessels and heat exchangers;
- large pumps;
- airlocks;
- turbine generator; and
- cooling water intake and other civil structures.

The assessment report for each SSC contains a full description of the SSC and associated subcomponents, including information on manufacture, installation and repair. The actual operating environment is examined and compared with specifications and limits set at the SSC design stage, and all plausible degradation mechanisms are considered. This leads to an assessment of the likely life span of the SSC and the potential for life extension. The report ends with recommendations for actions that management would have to take to attain 30- and 50-year lifetimes.

To date about 75% of the SSCs on Point Lepreau's list have been assessed and reports have been issued. As expected, the need to continue with existing inspections and procedures was generally reinforced in the reports, and improvements were suggested, but at the same time some previously unforeseen issues arose. For example, the reactor structure assessment indicated that no significant degradation is likely to occur, but to be prudent the vibration-fatigue behaviour of

some moderator system pipes and the corrosion of some end-shield components should be investigated. For life extension of the reactor structure, the long-term ductility of the calandria welds should be verified. In the steam generators, the performance of the Alloy 800 tubing has been good and the prognosis for extended life is good also, though some inspection of the steam generator internals is needed to resolve some uncertainties. Recommendations involve periodic cleaning, chemistry-control issues and proactive inspection and monitoring.

The review of procedures for surveillance, inspection, maintenance, etc., is ideally an integral part of an assessment of a plant's infrastructure management; it will be recalled that deficiencies in this area were cited by Ontario Hydro as one of the major reasons for laying up Pickering A and Bruce A. The management systems to be assessed include adequate documentation of the plant configuration, timely addressing of regulatory matters, efficient management of human resources and a continued awareness of environmental issues.

The approach is based on Reliability-Centred Maintenance (RCM), a systematic methodology for every system included in the maintenance schedule. The methodology involves asking seven fundamental questions about each system:

- What are its functions and performance standards?
- How can it fail to fulfil its functions?
- What causes each functional failure?
- What are the consequences of each failure?
- How and why is each failure important?
- How can failures be predicted or prevented?
- What procedures should be followed if preventive measures cannot be identified?

The answers lead to the probability of failure and to the general impact on plant operation for each system, so that an overall ranking can be assigned. Informed decisions on the maintenance schedules and any necessary R&D can then be made and priorities can be set.

The initial scoping study for the CANDU-6 reactors applied the RCM methodology to the auxiliary feedwater system. For the comprehensive joint study at Point Lepreau, up to 40 systems were identified, starting with the containment and its four sub-systems. The overall goal is to reduce the amount of corrective maintenance - including temporary repairs - and associated costs and replace them with a scheme of routine preventive maintenance at lower costs. For many of the systems this amounts to a refinement of procedures that have already been put in place. To date, about 25% of the systems have been assessed with the RCM methodology. As an example, the recommendation for the containment airlocks is to decrease the testing frequency for penetration seals but to change the design of inflatable door seals.

The Technology Watch program involves networking within the CANDU industry, first of all, to share plant information on the performance, failure modes, etc. of those SSCs that:

- are non-replaceable; and/or
- are essential to safety; and/or
- affect plant capacity factor.

In this context, COG activities such as workshops on maintenance practices and on steam generator ageing are useful sources of information. On a wider basis, it is clear that information on systems in other types of nuclear plant can be valuable for CANDU reactors also, so appropriate international agencies are included in the program. Trial programs on retrieving information on valves and flow-assisted corrosion are in progress.

In summary, the joint AECL-NB Power program has assessed many of the CANDU-6 critical SSCs and has reviewed maintenance procedures pertinent to Point Lepreau using the RCM methodology; the Technology Watch initiative has begun with trial programs. The key factors for plant life, are indeed, so far found to be manageable. The integrated approach to PLIM is proving to be effective, which clearly depends upon the cooperation between AECL and the utility. Besides the obvious application of the results of the present program to Point Lepreau, benefits will accrue to other CANDU reactors and to AECL. AECL will gain:

- a more detailed knowledge of the behaviour of its product to be utilized in new designs;
- experience with developing and administering a maintenance program, in addition to the services already provided to OPG in the Pickering A re-start exercise, that can be adapted and exploited for other customers;
- expertise to offer maintenance and inspection packages with new sales;
- confidence in offering new CANDUs with high capacity factor and long life; and
- another mechanism for defining and exploiting R&D programs.

Recommendation 1

The Panel recognises the importance of Plant Life Management programs not only to the CANDU utilities but also to the whole concept of CANDU and its long-term viability.

The Panel therefore recommends that PLIM initiatives such as the joint program with NB Power continue to be given high priority by AECL, and that the expertise gained at Point Lepreau be utilized by AECL to full advantage in offering services to other utilities, in defining R&D directions, and in marketing new products.

5.3 POINT LEPREAU REFURBISHMENT

AECL's current approach to life extension of operating CANDU reactors is to implement PLIM programs to assure a sixty-year life, with a mid-life refurbishment involving replacement of the fuel channels.

The Point Lepreau CANDU-6 reactor is an interesting test case, in that a detailed feasibility study for refurbishment, during a prolonged shutdown in 2006-7, is being carried out in conjunction with AECL. That would make the time to "mid-life" of that particular plant 23-24 calendar years, or about 18 effective full-power years.

The feasibility study is in response to an assessment done in 1993-94 by an independent consulting firm, Hagler Bailly, which examined the economic implications for NB Power of the

operating options for Point Lepreau. After considering all the issues relevant to the economics of running the plant, such as equipment performance, regulatory compliance, personnel matters, etc., they concluded that:

- shutdown in the near future is not the most economic option;
- if operation is to continue, some uncertainties in cost estimates must be resolved; and
- operating until 2032 is the most economic option.

The second of these conclusions implies the assurance of plant operating performance, even before the refurbishment is put into practice. Accordingly, with the PLIM exercise described in Section 5.2, Point Lepreau has instituted quality assurance measures to address possible deficiencies in a wide range of management and operation activities, many of which have been identified in the periodic World Association of Nuclear Operators (WANO) performance audits as areas for improvement. The organisation of plant outages is a key activity under scrutiny. The last conclusion entails plant refurbishment followed by continued efficient operation for as long as possible (note that the 2032 date suggests an economic operating life of at least 50 calendar years).

The feasibility study began early in 2000, and so far envisages the refurbishment in three phases: Phase 1, definition; Phase 2, preparation; and, Phase 3, implementation.

The definition period in Phase 1, which incorporates the current feasibility study, is expected to lead to a recommendation in early 2002 to proceed with refurbishment. The preliminary engineering studies of components and facilities involve AECL's technical expertise; in particular, the Large Scale Fuel Channel Replacement (LSFCR) requires detailed planning, drawing on AECL's development of techniques for the rapid removal of old fuel channels and the insertion of new ones. It is currently planned to cut all the old feeders just below the freeze jackets; the lower sections will be replaced with all-welded pipe, including welds to the end-fittings. It is not clear at this stage which material will be chosen for the feeders. Fuel channels will be progressively withdrawn from the core in short lengths, cut off and flattened for easy removal and storage. The reference fuel channel for replacement is currently the Qinshan-2 design, involving tight garter springs, a seamless calandria tube and welded connections between the end fittings and the feeders. However, one possibility being considered is that the pressure tube will already be fitted with fixed spacers, rather than garter springs, before insertion. The spacers are robust rings, fixed in circumferential "channels" round the outsides of the pressure tubes, with grooves parallel to the tube axis to permit the annulus gas to flow between the pressure tubes and the calandria tubes. This deviation from the conventional spacer design clearly raises questions about possible effects on pressure tube behaviour and emphasises the need for continuing R&D in this area as well as others in which significant changes are to be made. Issues of licensing and implementation in operating plants arise also and provide an opportunity for AECL to work further with the utility in order to ensure a smooth process for acceptance and installation of the components.

Recommendation 2

The Panel recommends that AECL work with NB Power to identify R&D and implementation needs associated with the Point Lepreau refurbishment and to develop programs that address those needs.

Besides the planning for the LSFCR, the PLIM assessment of critical systems, as described earlier, is an important part of this phase of the refurbishment exercise. This definition phase must also address safety and licensing issues. As action items arise, they are discussed in regular meetings with the CNSC. Also, serious commitments need to be made to public information programs.

The preparation period in Phase 2 takes the project from a positive recommendation in 2002 to the start of the refurbishment outage, which is now expected to be in early 2006. It will be recalled that the fuel channels at Point Lepreau are expected to be serviceable to at least 2008; however, the plan for an earlier shutdown in 2006 gives more flexibility to the actual shutdown date, in case a delay is called for, and reduces the risk of high-cost incidents that might occur closer to the pressure-tube end-of-life.

To prepare for the LSFCR, detailed procedures will be drawn up and procurement of materials for the new fuel channels will begin. Depending on the results of the PLIM assessments, the detailed engineering for those systems requiring design changes will be undertaken and the necessary materials procured. Consultation with the CNSC will continue for the resolution of safety and licensing issues and an overall probabilistic safety assessment will be prepared. Again in this phase of the work, public information programs are seen as important for the success of the project.

The implementation of refurbishment in Phase 3 will aim to have Point Lepreau in operation again in late 2007, for a total shut-down time of less than two years. All 380 fuel channel assemblies with the lower sections of their feeders will be replaced during the LSFCR and those systems identified in the PLIM exercise will be refurbished as required. As well, any upgrades to safety systems will be implemented during this phase.

One interesting development emerging from the current Phase 1 work is that during the Phase-3 reconditioning of the turbine-generator set an extra 1-2% efficiency of the whole system could be gained by modifications such as the replacement of some of the blading.

In summary, in the current Phase 1 of the refurbishment exercise at Point Lepreau, NB Power has engaged AECL to participate in the engineering assessments and the preparations for the LSFCR. The details of the work to be done in the exercise, the costs and the risks to NB Power will emerge in due course. Business partners are being sought to share the risks of the enterprise for a share of the subsequent benefits.

Recommendation 3

The refurbishment, including the large-scale fuel-channel replacement, at Point Lepreau is a demonstration that the concept of a long life (sixty years for a new reactor with current technology) for the CANDU system is achievable. The success of the exercise at Point Lepreau is accordingly seen as vital for the survival of the CANDU option.

The Panel therefore views AECL's collaboration with NB Power in the refurbishment as essential to its mission, and believes that AECL should participate in all appropriate activities to ensure its success. The public information exercise, in particular, is a key aspect of the program to which AECL could make an important contribution.

The Panel therefore recommends that AECL continue to collaborate with NB Power on the refurbishment of Point Lepreau and that every effort be made in all phases of the project to ensure its success.

CHAPTER 6: NUCLEAR REGULATORY ENVIRONMENT

6.1 INTRODUCTION

The Panel endeavours to maintain an awareness of nuclear regulatory developments in Canada because of their potential for significant impact on the research, development and design activities of AECL. In 1999, the Panel reported on the consequences of the 1988 decision by AECB, now the Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), to publish a list of outstanding "Generic Action Items" (GAIs) that is, a list of outstanding nuclear safety issues considered by the AECB staff to have generic applicability. In January 1999, the AECB began issuing a series of Position Statements on GAIs, to be updated annually, describing the nuclear safety issue underlying each item, the regulatory requirements stipulated as essential to their satisfactory resolution, the expected schedule for resolution of each item, and the status of each item. During the current year, the Panel reviewed the status of GAIs and learned that the CNSC staff is:

- continuing to pursue the GAI process; and
- preparing an assessment report on the overall status of the GAI process and each GAI.

The report is expected to be issued in the Fall of 2000.

The Panel believes that, notwithstanding certain differences between the CNSC and its licensees regarding the "closure criteria" and schedule for resolution of some GAIs, the situation is much more acceptable than in earlier years. Further review of the matter will take place once the assessment report by the CNSC staff becomes available.

Other components of the nuclear regulatory process which are regularly reviewed by the Panel include the overall process itself, the continually evolving technical requirements deemed by the CNSC to arise from its mission "to ensure that the use of nuclear energy in Canada does not pose undue risk to health, safety, security and the environment", and actions taken or planned by the CNSC which impinge directly on nuclear R&D in Canada, such as its request in late 1999 to the CANDU Owners Group Inc. (COG) "to assess the adequacy of the R&D programs and infrastructure in place to support safe operation of Canadian CANDU reactors" (see Section 6.4 of this Chapter).

A working group of the Panel met with senior CNSC staff members to update the Panel's knowledge of current regulatory activities. The meeting took place in August and the information obtained is incorporated into this and other sections of this Report.

6.2 THE REGULATORY PROCESS FOR NUCLEAR POWER REACTORS IN CANADA

6.2.1 Risk-Informed Regulation

On 31 August 1946, the Atomic Energy Control Act of Canada was proclaimed and two months later the newly created Atomic Energy Control Board issued its first set of regulations. Almost

54 years later, on 31 May 2000, the Canadian Nuclear Safety and Control Act was proclaimed. The newly created Canadian Nuclear Safety Commission immediately issued a nine-part set of comprehensive regulations together with its rules of procedure.

As in the case of the regulations that they replaced, the new regulations provide for a nuclear regulatory framework in which the safety requirements established over the preceding four decades on a largely deterministic basis will continue to apply. Unfortunately, there is no explicit recognition of the concept of risk-informed regulation in which safety requirements are determined on the basis of plant-specific probabilistic safety assessments as explained in Subsection 6.2.2.

In order to broaden the Panel's understanding of the changes to the regulatory process for nuclear power reactors in Canada that are expected to arise from the new Act and the Regulations and Rules of Procedure, this subject was included in the agenda for the August 2000 meeting with CNSC staff. Prior to the meeting, the Panel reviewed a 1999 report on the regulatory process for nuclear power reactors in the United States [1]. The Report was prepared under the auspices of the Centre for Strategic and International Studies (CSIS), Washington, DC. It addresses the 13 issues that have been central to past and current interactions between the US Nuclear Regulatory Commission (USNRC), industry and the public. These 13 issues have a number of similarities to past and current issues between the AECB/CNSC, industry and the public. A major emphasis in the CSIS report is the risk-informed regulatory regime now being implemented in the USA.

Panel representatives discussed the CSIS report with CNSC staff members, who stated that it was the Commission's intention to move towards a more formal recognition of the importance of a risk-informed regulatory process in which probabilistic and cost-benefit arguments would be taken into consideration more visibly and more consistently. The CNSC staff are developing policy guidelines and procedures for use in judging the acceptability of such arguments. Additionally, CNSC and USNRC staff have been discussing the latter's recent practices in this matter as part of their ongoing bilateral exchanges. The Panel is pleased to learn of these developments and is confident that a more appropriate, efficient and effective regulatory process would result, without any reduction in the standards of public and occupational safety. An important added benefit will be an improved focus and realignment of priorities in R&D efforts in reactor safety.

Chapter 2 of this Report cites a recommendation of the Electricity Industries Issues Table [2] that, assuming that nuclear energy is recognized to have a role in coping with climate change, there is a need for governments to resolve regulatory issues regarding nuclear power. The Issues Table does not identify any specific problems in the regulation of nuclear energy, so that it is difficult to comment on this recommendation. The Panel believes that the CNSC's moves towards more risk-informed regulatory procedures, as discussed above, will result in a more effective regulatory regime.

It is the Panel's intention to continue to monitor the nuclear regulatory process in Canada, in particular, developments in risk-informed regulation, under the new Nuclear Safety and Control Act to ensure that any significant impact on R&D in reactor safety is identified and duly considered.

6.2.2 Development of Probabilistic Risk Assessment in Canada

With reference to risk-informed regulation, it is worth noting that nuclear power reactor regulation in Canada, while basically deterministic in nature, has incorporated a risk concept from the beginning. The first criteria for reactor safety and licensing in Canada were proposed and developed in the late 1950s and early 1960s by Siddall and Lewis [3] and by Laurence [4]. They proposed safety standards for nuclear power plants based on their economic benefits and health costs compared to those of alternative coal-fired plants. This approach resulted in a criterion that the probability of a serious accident should be less than 10^{-5} per reactor-year.

This approach was formally incorporated into the Siting Guide of the AECB [5]. The guide was developed further and modified in 1972 [6] to specify what were termed "Individual and Population Reference Dose Limits" for normal operation and for two classes of postulated "accidents". Frequency limits for the two classes of accidents were specified. These Reference Dose Limits and the design-basis frequency limits for accidents were chosen on the expectation that the probability of increased occurrence of leukemia, deemed to be the most significant radiological hazard from nuclear power plants, should be small compared to its normal rate of occurrence.

In the light of experience, the AECB developed additional requirements and eventually issued a revised licensing guide in 1995 [7]. This document specifies dose limits for five classes of accidents but does not specify the assumed frequency range for each accident class, instead assigning lists of specified accident sequences to each of the five classes, based on assumed severity. Thus, it does not explicitly recognize a risk concept. However, it does recognize probabilistic risk assessment (PRA) as a methodology that can be used to support the deterministic analysis.

Application of probabilistic risk assessment, also referred to as probabilistic safety assessment (PSA), requires intimate knowledge of all reactor and balance-of-plant systems, structures and components (SSCs), identification of potential initiating events and development of accident sequences, identification of possible cross-links between events and of possible common-cause events, knowledge of failure frequencies of all components, of human factors (behaviour under stress), of the physical behaviour of SSCs under accident conditions, of the behaviour of radioactive species released in accidents and of the biological effects of such releases, as well as mathematical methods needed to handle all the information and to account for uncertainties. Over the years, such information and methodology have been acquired and developed through operating experience, research and analysis for different reactor types. PRA methodology is in widespread use for reactor safety analysis today.

The application of PRA to CANDU reactors evolved from the "safety design matrix" approach that consisted of reliability assessments of various systems under long-term accident conditions. The first major PRA for a CANDU reactor was undertaken by Ontario Hydro for the Darlington Nuclear Generating Station in 1987 [8] and was followed by a preliminary PRA study of a CANDU-6 in 1988 [9]. AECL performed limited PSA analyses for Wolsong 2, 3 & 4 and is developing a comprehensive generic PSA program for CANDU reactors [10]. AECL is also undertaking a PSA analysis of the CANDU-9 [11]. Thus, the tools are now available to enable the CNSC to employ risk-informed regulation to a greater extent than previously. That would provide a more efficient

and cost-effective regulatory process that would not only continue to ensure, but would also enhance, public and worker safety. Considering this situation, the Panel makes the following recommendation. (See also Recommendation 7 of Chapter 4, Part 1, of this Report.)

Recommendation 1

The Panel recommends that AECL continue to develop probabilistic safety assessment methodology with the objective of enabling it to focus its safety R&D activities on design and operational issues commensurate with their importance to public and occupational health and safety at nuclear facilities. This development should be pursued in cooperation with the CNSC with a view to expediting the application of risk-informed principles to reactor licensing.

Experience with PSA methodology has shown that considerable economic and schedule benefits can be obtained by applying it in parallel with the design process, permitting early identification and correction of potential weaknesses and pointing the way to safety-optimized design solutions [12]. Therefore, it is important that AECL's generic PSA methodology be applied to the NG-CANDU design as soon as possible, to take full advantage of the methodology.

Recommendation 2

The Panel recommends that AECL begin to apply as soon as possible the generic CANDU PSA methodology to the NG-CANDU as part of the design process.

6.2.3 Environmental Assessment under the Nuclear Safety and Control Act

Under the new Nuclear Safety and Control Act, the CNSC is responsible for environmental assessments of licensed facilities. The CNSC has served notice that it intends to take a more active role in applying the Environmental Assessment Act to nuclear facilities.

As mentioned in Chapter 2, the Panel is concerned that the scope of the environmental assessment of the Pickering-A restart does not include the assessment of the environmental impact of <u>not</u> restarting the plant. Failure to restart would result in continuing emissions of CO_2, SO_2 and NO_x from the coal-fired plants providing replacement power. It is apparent that a valid environmental assessment must include consideration of this factor.

The CNSC staff has recently issued its environmental assessment screening report on the Pickering-A restart [13], which does not take the failure to restart into account, but which concludes that the Pickering-A return to service project is not likely to cause significant adverse effects on the environment. While this is a positive step, public hearings are still to be held before the CNSC makes its final decision on the environmental acceptability of the restart and determines an appropriate course of action. Since the restart of Pickering-A is a vital element in the reduction of GHG emissions in Canada, as discussed in Chapter 2, it is very important that such considerations be included in the overall environmental assessment of its restart. Furthermore, the continuing significant contribution of nuclear power to Canada's efforts to meet its Kyoto commitments and the even more significant potential role of nuclear energy beyond the Kyoto time frame, as discussed in Chapter 2, must be recognized in any future environmental assessments by the CNSC.

Recommendation 3

The Panel recommends that AECL, in conjunction with others in the nuclear industry, work to ensure that the significant positive effects of nuclear energy in the reduction of GHG and other air-pollutant emissions will be taken into account in any future environmental assessments undertaken by the CNSC in the licensing of nuclear facilities in Canada.

6.3 NUCLEAR REGULATION AND HUMAN RESOURCES

A further subject discussed with CNSC staff was that of human resource planning, and in particular, the increasingly difficult challenge of coping with singleton expertise in a rapidly diminishing pool of experts. The CNSC staff is well aware, as are their industry colleagues, that the number of persons with nuclear design, operational and safety experience has been reduced drastically due to extensive cutbacks at AECL and OPG.

Members of the CNSC and senior staff have been aware of this deteriorating situation since the early 1990s, beginning with the significant downsizing of Ontario Hydro that took place in 1993. The CNSC expressed concerns about this situation in its request to COG to report on nuclear R&D capability in Canada.

Panel representatives subsequently discussed this situation with representatives of the CNSC's Advisory Committee on Nuclear Safety (ACNS). The discussion showed that the ACNS was also concerned about the growing weaknesses in the process for selecting, recruiting and training new regulatory staff.

In its 1998 Annual Report, the Panel reviewed human resources in AECL and their relationship to AECL's R&D priorities and made recommendations for actions by AECL. The Panel is now concerned about the loss of expertise and the difficulties of recruitment in the nuclear industry as a whole and in the CNSC in particular. The Panel is not aware of any coordinated plan in the nuclear industry to address this issue.

Recommendation 4

The Panel recommends that AECL approach the CANDU Owners' Group and the Canadian Nuclear Safety Commission to develop a coordinated plan for addressing the loss of expertise and the recruitment and training of personnel for the nuclear industry in Canada.

6.4 COG REVIEW OF NUCLEAR R&D CAPABILITY IN CANADA

Discussions with the CNSC staff in August 2000 also covered the COG R&D Capability report [14] and the results of the Panel's review of it [15]. Panel members expressed their view that there is a clear need for a new research reactor facility and that the proposed Canadian Neutron Facility (CNF) would fill this need admirably. The NRX research reactor and later the NRU reactor made it possible for a continuing stream of young researchers, operators and in many

instances regulators to gain the all essential understanding and experience that has been one of the strengths of the Canadian nuclear program.

The CNSC staff commented that if the utilities were to express serious interest in the use of CANFLEX bundles and SEU fuel, then there would be a strong additional argument for building a new research reactor. (Note: It is the Panel's view that since the NG-CANDU design is based on CANFLEX bundles with SEU fuel, an additional statement of support might be forthcoming if AECL were to inform the CNSC officially, as soon as possible, of its intention to proceed with the NG-CANDU program. The Panel urges AECL to investigate this possibility).

6.5 CONCLUSIONS

Staff of the CNSC are aware of the initiatives being taken by staff of the US Nuclear Regulatory Commission that are intended to place greater emphasis on risk-informed regulation of nuclear power plants. The USNRC's objective is to focus license fee and regulator attention on design and operational issues commensurate with their importance to public health and safety. The Panel believes that as the staff of the CNSC pursues its current inquiries into risk-informed regulation and extends its exchanges with the USNRC that a more appropriate, more efficient and more effective regulatory regime will emerge in Canada.

AECL's recent efforts to develop a comprehensive PSA methodology for CANDU reactors is a particularly important building block from which to promote further industry-wide contributions to the advancement of a risk-informed regulatory regime in Canada.

The significant downsizing of Ontario Power Generation and subsequent cut backs in AECL- and utility-sponsored R&D programs have drastically reduced the pool of persons with nuclear design, operating, and safety experience. The lack of a coordinated plan involving AECL and the three nuclear utilities that would counteract the effects of these negative events is a very important issue, which should be promptly rectified (see Chapter 9 of this Report).

REFERENCES

1. Ahearne, J.F., et al; The Regulatory Process for Nuclear Power Reactors. A Review, The Center for Strategic and International Studies, Washington, 1999

2. Electricity Industry Issues Table. Options Paper. November 3, 1999

3. Siddall, E., and W.B.Lewis; Reactor Safety Standards and Their Attainment, AECL-498, September, 1957

4. Laurence, G.C., Reactor Siting in Canada, AECL-1375, October 1961

5. Reactor Siting and Design Guide, Atomic Energy Control Board, 1964

6. Hurst, D.G., and F.C.Boyd, Reactor Licensing and Safety Requirements, AECB-1059, 1972

7. Requirements for the Safety Analysis of CANDU Nuclear Power Plants, Atomic Energy Control Board Consultative Document C-6, Revision 1, Draft, October 1995

8. Darlington Probabilistic Safety Evaluation, Summary Report, Ontario Hydro, December 1987

9. Howieson, J.Q., H.S.Shapiro, P.J.Allen, J.T.Rogers, P.Mostert and R.W.Van Otterloo; Probabilistic Risk Assessment Study of a CANDU 600, Proc. International Symposium on Severe Accidents in Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency, March 1988

10. Bonechi, M., T.Aziz, R.Jaitly, P.M.Mathew and A.Stretch; Generic CANDU PSA Program at AECL, IAEA Workshop on Probabilistic Safety Assessments for Pressurized Heavy Water Reactors, Toronto, May 1999.

11. Bonechi, M., and A.L.Wight, CANDU-9 Safety and Licensing Update, AECL 1999

12. Brooks, G.L., Early Steps in the Evolution of CANDU Probabilistic Safety Analysis, IAEA Workshop on Probabilistic Safety Assessments for Pressurized Heavy Water Reactors, Toronto, May 1999.

13. Pickering A Return to Service Environmental Assessment Screening Report, Canadian Nuclear Safety Commission, August 31, 2000

14. CANDU Research and Development Capability Review, CANDU Owners' Group, COG-00-59, March 2000

15. Comments on Draft Report: CANDU Research and Development Capability Review, Prepared by CANDU Owners' Group, March 2000. AECL Research and Development Advisory Panel, April 2, 2000

CHAPTER 7: MANAGEMENT OF COMPUTER CODES FOR DESIGN AND SAFETY ANALYSIS

7.1 INTRODUCTION

This Chapter includes an update to Section 4.3 of the 1999 Panel Report focusing on quality assurance and validation of computer codes, the Industry Standard Toolset and the Code Management Panel and Code Centre. New issues discussed here are the qualification procedures for AECL's active codes and the impact of the NG-CANDU program, as described in Chapter 4, Part 1, of this Report, on AECL's code management program. As in the 1999 Panel Report, only computer codes used for reactor design and safety analysis will be considered here.

7.2 SOFTWARE QUALITY ASSURANCE AND CODE QUALIFICATION

AECL has developed a policy for software quality assurance (SQA) and has issued a Quality Assurance Manual for computer codes, which complies with the requirements of the Canadian Standards Association (CSA) and the International Standards Organization (ISO).

In July 1999, the CNSC opened a Generic Action Item (GAI) on Quality Assurance of Safety Analysis (99G01). This GAI specifies CSA standards and CNSC regulatory guides to be followed for computer codes used in safety analysis, defines closure criteria and specifies a closure date of December 31, 2001.

AECL has performed an internal quality-assurance audit of its safety analysis of the CANDU-9 and has concluded that it is compliant with the requirements of GAI 99G01. AECL does not foresee major difficulties with the quality assurance of future reactor safety analyses, provided that they adhere to the AECL Quality Assurance Manual for computer codes.

AECL has assessed its current computer codes for reactor design and safety analysis and has identified those that will be retained as active codes, including a small number that are key to AECL's safety analysis and licensing processes. In general, these codes must comply with the requirements of the AECL Quality Assurance Manual and for safety analysis applications must meet the closure criteria specified by the CNSC in GAI 99G01. However, the compliance requirements will vary with the safety or design significance of the application, with decisions on compliance being made on a risk basis. AECL has developed a Qualification Plan for these codes, which specifies the requirements and conditions for the qualification of a code as well as the cost and resource requirements for this work.

7.3 COMPUTER CODE VALIDATION

A necessary factor in the qualification of a computer code is the validation of the code, by comparison of its predictions to reliable experimental data, over the range of conditions under which it is to be applied. In 1998, CNSC opened a generic action item on Validation of Computer Codes Used in Safety Analysis of Power Reactors (GAI 98G02) and issued a position statement on this GAI in May 1999. This position statement states the requirements for validation, the scope of the

programs involved, the relationship of this GAI to other GAIs, defines closure criteria and sets a completion date of 31 December, 2001. AECL is proceeding with the validation of its computer codes, keeping the CNSC well informed, with priority being given to the key codes for safety and licensing purposes.

As mentioned in the 1999 Report of the Panel, AECL is developing an improved methodology for reactor safety analysis that uses a best-estimate approach coupled with a rigorous, statistically based uncertainty analysis [1, 2]. For this methodology to be effective, good experimental practices and procedures must be followed in the experimental programs used for validation purposes. These include such requirements as adequate physical representation of the reactor conditions, careful design of the experiments, especially the instrumentation, careful control of experimental conditions and comprehensive error analysis of the resulting data. This methodology can lead to reduced conservatism in reactor design, with potential reduction of capital costs, and to improved operating flexibility, without jeopardizing public safety. The methodology can also help to focus safety R&D on the most significant areas and can provide the basis for more precise emergency operating procedures for accident conditions. The Panel expresses its strong support for this methodology and for its incorporation in the safety analysis and licensing process.

7.4 INDUSTRY STANDARD TOOLSET COMPUTER CODES

As discussed in 1999 Panel Report, general agreement has been reached among AECL, Ontario Power Generation, New Brunswick Power and Hydro-Québec to use and maintain a single set of key computer codes for licensing and safety analysis. Most of the key AECL safety analysis and licensing codes mentioned in Section 7.2 have already been designated as Industry Standard Toolset (IST) codes, with other codes now under consideration as IST codes. While AECL is taking the lead in qualifying the key licensing and safety analysis codes, under the IST agreement the nuclear utilities are also committed to making contributions to code qualification, with some of the work being done through COG.

The Panel emphasizes the importance of a consistent safety analysis methodology among the partners in the IST. The Panel is pleased to learn that Ontario Power Generation is now also utilizing the best-estimate plus uncertainty analysis methodology being used by AECL [3].

7.5 CODE MANAGEMENT PANEL AND CODE CENTRE

The AECL Code Management Panel (CodeMP) is responsible for ensuring that the key safety analysis and licensing codes meet the closure criteria of CNSC Generic Action Item 99G01, that all active codes comply with the AECL Quality Assurance Manual and that active codes are validated appropriately. The CodeMP endorses codes for use in AECL as they become qualified through internal audits of code management processes and documentation. The CodeMP also oversees the Computer Program Change Control Board, which has been set up to ensure that any changes to computer codes comply with the QA Manual.

Another important function of the CodeMP is to direct the operation of the AECL Code Centre. The Code Centre will make AECL technology more readily available to clients, potential clients, universities and institutes under controlled terms and conditions (see Chapter 9 for discussion of the

relationship of the Code Centre to the universities). The Panel reiterates its support of the Code Centre, believing that greater familiarity with CANDU and MAPLE technology will not only promote business opportunities for AECL but will also help to attract young engineers and scientists to the nuclear industry. The Panel is pleased to note that AECL, in response to a recommendation in the 1999 Panel Report to inform potential users of the Centre and its services, has issued notices about the formation of the Code Centre, has presented a paper about it at the PBNC 2000 conference and has taken other measures to publicize it.

7.6 CODE DEVELOPMENT FOR THE NG-CANDU DESIGN

The NG-CANDU design represents one of the most important initiatives that AECL has undertaken in recent years. The NG-CANDU design, the R&D program needed to support it and the facilities needed for the R&D program are described in Chapter 4, Part 1, of this Report. The NG-CANDU program will have a significant impact on AECL computer code development and qualification and this impact must be taken into account in the AECL code management activities. The use of slightly enriched uranium (SEU) in a CANFLEX bundle, light water coolant at higher temperature and pressure, reduced lattice pitch, new fuel channel design and other modifications will all lead to modifications in the key AECL safety analysis and licensing codes as well as many of the other active AECL computer codes. These codes must then be qualified and validated for the new conditions. In most cases, this validation will require the acquisition of additional experimental data. Considering the target date for market readiness of the NG-CANDU design of 2005, it is essential that the key AECL safety analysis and licensing codes be qualified for NG-CANDU conditions before that date in order to obtain a statement of licensability from the CNSC by then.

The Panel has learned that the Computer Program Change Control Board, referred to in Section 7.5 of this Chapter, is now assessing the range of applicability of the key safety analysis and licensing codes to the NG-CANDU design and specifying plans for the needed modifications of these codes in accordance with the computer code Quality Assurance Manual. The next vital steps are the identification of validation needs and the actual validation of these codes for the NG-CANDU conditions, including experimental investigations as needed.

7.7 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The Panel questions whether AECL will have sufficient specialists with the required expertise to ensure that the key safety analysis and licensing codes can be qualified by the target date of December 2001, that the key codes can be qualified for NG-CANDU conditions as and when needed and that the remaining active codes can be qualified on a timely basis.

Recommendation 1

The Panel recommends that AECL continue to develop its focused approach to its human-resources succession planning and apply this approach to:

- ***identify the needs for additional specialists to ensure that the key safety analysis and licensing computer codes can be qualified by the target date and that other codes can be qualified on a timely basis, and***

- ***take actions as necessary to recruit, train or retain such specialists.***

As noted in Section 7.3, the Panel repeats its strong support for the best-estimate plus uncertainty safety analysis methodology being applied by AECL. The acceptance of this methodology for safety analysis by the CNSC is vital for the licensing of CANDU reactors in the future. The stated intention of CNSC of moving towards a more-risk informed approach to regulation, as discussed in Chapter 6, should help to gain acceptance of this methodology, which can measure safety margins better than the previous conservative approach.

Recommendation 2

The Panel recommends that AECL work with CNSC towards the acceptance of the best-estimate plus uncertainty analysis methodology for safety analysis and licensing purposes.

The Panel strongly endorses the agreement between AECL and the nuclear utilities for the development of the Industry Standard Toolset. This arrangement will avoid unnecessary duplication of effort and will assist in the qualification of the key AECL computer codes for safety analysis and licensing purposes by the target date.

Recommendation 3

The Panel recommends that AECL continue to work towards inclusion of appropriate computer codes in the Industry Standard Toolset and continue its efforts to qualify the key safety analysis and licensing codes with the cooperation of the Canadian nuclear utilities.

The Panel recognizes the need to ensure that qualification activities for the key AECL codes for NG-CANDU conditions are clearly identified and are adequately coordinated between code developers and code users. In particular, experimental investigations needed for code validation for the NG-CANDU conditions must be identified and begun as soon as possible. This work should be part of the up-front licensing process for NG-CANDU discussed in Chapter 4.

Recommendation 4

The Panel recommends that AECL include the qualification of its key safety analysis and licensing codes for the NG-CANDU conditions, particularly the validations required for those conditions, in the up-front licensing process recommended by the Panel and that AECL begin this qualification as soon as possible.

The Panel endorses the actions that AECL has taken in response to the recommendations of the Panel in its 1999 Report to develop a program and mechanisms to inform potential users of the existence of the AECL Code Centre, the services it will provide and other relevant information. The

Panel urges AECL to continue its efforts in this area, particularly in making the services of the Code Centre known and available to its universities.

Recommendation 5

The Panel recommends that AECL expand its efforts to publicize the existence and services of the AECL Code Centre to the universities.

REFERENCES

1. Sills, H.E., R.B.Duffey and T.H.Andres; MAPLE Research Reactor Safety Margins Uncertainty Analysis Methodology, Proc. CNS Annual Conference, Montreal, May 1999

2. Abdul-Razzak, A., CANDU-9 Large LOCA Uncertainty Analysis, January 1999

3. Luxat, J.C., Safety Analysis Technology: Evolution, Revolution and the Drive to Re-Establish Margins, Canadian Nuclear Society, 21st Annual Conference, Toronto, June 2000

CHAPTER 8: RADIOBIOLOGY AND HEALTH PHYSICS PROGRAM

8.1 INTRODUCTION

In its previous Reports, the Panel recognized that the transition of AECL from the status of a National Laboratory toward that of a reactor vendor has produced an uncomfortable fit for some niche research programs that were previously justified under the rubric of the National Laboratory. Radiation biology is one example of such a program. While AECL continues to require some project-specific biological R&D, the historical justification of the program served broader needs than only those of the nuclear industry. In its previous Reports, the Panel recognized that it is no longer within AECL's mandate or financial capability to support a broad-ranging biology program nor is it any longer in the public interest that it should attempt to do so. The interim agreement in which the program has been transferred to the Radiation Protection Branch of Health Canada is an important step in the repositioning of this important research capability (see Chapter 3 of this Report).

There are five areas in which radiobiological research continues to be important for the nuclear energy industry in general or AECL in particular:

- in the support of facility design, operation and decommissioning of nuclear reactors where the biological responses to radiation set some limits. This level of biology is largely generic to all reactor designs and is supported by national publicly funded research programs. No reactor vendor supports biology programs in pursuit of this information.

- regarding biological issues that are important for a reactor design, as by example, the potential that exists for worker exposure to H-3 and C-14 in CANDU stations. This should remain the responsibility of AECL and COG to fund.

- requirements to understand the local and possibly unique environmental implications of each station's siting. This work is likely to be project-specific and to be the responsibility of the utility.

- in response to matters raised by regulatory bodies. The responsibility for this research may vary and be shared by vendors, utilities, the regulator and public funding. By way of example, the CNSC has recently introduced new environmental policies, which will require the industry to develop a more thorough understanding of the radiological impacts of nuclear facilities on non-human biota. To varying degrees, all parties share an interest in an issue as broadly encompassing as the environmental impact of energy production.

- public safety, policy development, the development of new knowledge and the dividend that comes through interdisciplinary sharing of fundamental research. Governmental and public peer-reviewed funding agencies should bear the responsibility for this as this interest is more widely shared by public agencies and the public.

8.2 COG AND RADIOBIOLOGY

In 1999 the AECB (now the CNSC) asked Canadian nuclear utilities to provide it with reassurance that they continue to be able to respond to its questions concerning the safe operation of their facilities with a capacity to conduct essential R&D. The industry response is contained in a COG document (COG-00-59) "CANDU Research and Development Capability Review", in which the current and likely future status of research programs and facilities on which it relies are appraised (see Chapter 3 of this Report). The authors recognize that in respect to biological sciences, the interests of the utilities overlap with those of other national programs and recommend that a program in radiobiological sciences be maintained in the form of a national centre for radiological sciences. In that document it is also recognized that the radiation biology program at CRL in its present form is in a state of crisis. It is also noted that the health physics and environmental sciences programs will probably face a similar crisis within three years. In respect of all these programs there is concern over the lack of replacement of researchers approaching retirement and the existence of singleton experts without backup in a number of fields. The difficulties that are being encountered in attracting graduate students into these fields and the importance of active succession planning are noted. This is a problem that concerns the nuclear industry more widely and is discussed in Chapter 9 of this Report.

8.3 THE CRL RADIOBIOLOGY PROGRAM

The Biology Program at CRL has historically supported the Canadian nuclear industry in all the areas noted in Section 8.1 above. The biologists at CRL have also been active contributors to the development of standards for health and radiation safety and have represented Canada at international fora. This is a significant record of accomplishments. However, the group has always been too small to sustain a comprehensive research program such as were undertaken at many other national laboratories. Funding constraints have prevented any recruitment of new scientists and the lack of a policy for the support of radiation biology in Canada has delayed restructuring and the identification of other possible funding sources. At the same time, their physical plant is excellent and should be used to resolve questions that remain important for both the industry and the country.

There is no direct evidence that any human being has ever suffered injury from exposure to low doses of ionizing radiations (<200mSv). The naturally occurring background of radiation varies by as much as 70-fold (1-70mSv/year) around the world and no increase in the incidence of cancer has been found in the high dose regions. Nevertheless, low dose effects could be significant if they subtly increased the incidence of cancers or birth defects in large populations. Thus, the fundamental unresolved question in current radiation biology concerns the effects, if any, of exposure to low doses of ionizing radiations. The resolution of this issue will have profound effects on the public acceptance of the nuclear industry, on regulatory policies and on related fields of research.

Historically, the effects of higher doses were evaluated by laboratory experimentation with animals and cell cultures as well as by epidemiological studies of exposed human populations. These studies confirmed the deleterious effects of higher doses but the errors inherent in all the

methodologies prevented resolution of the effects, if any, of low doses. The lingering uncertainty has forced regulatory bodies to assume linearity of dose effects between zero dose and doses associated with measurable effects in order to be assured that the possibility of harm to humans is minimized.

It is now possible to bring the new techniques of molecular biology to bear on this problem and to determine whether damage from low doses of radiation is always completely repaired and whether or how different populations vary in this ability. This line of research will determine whether there are doses and dose rates at which radiation damage is completely reparable as well as whether human populations vary significantly in their ability to perform these repairs. Two recent advances in molecular biology point to its power to detect and evaluate cellular events after radiation. First, the human genome project is nearing completion. The genetic map will insure that the important genes by which cells respond to radiation will be identified. Second, techniques for identifying gene activity have improved greatly. Very many messages derived from transcription of genes (messenger RNA, or mRNA) can now be identified in a single experiment. Thus, patterns of response can be readily and quickly detected and quantitated. Experiments where dose and time are altered can be performed. It is even possible to separate events that depend on DNA damage from those that represent the subsequent response of cells, including recovery from damage. These molecular techniques are not specific to radiation biology. Rather, they are in general use for many applications, particularly in Universities and Research Institutes. Collaborations between radiation biologists and molecular geneticists could greatly facilitate the work.

Recommendation 1

The Panel recommends that special efforts be made to expand collaboration between radiation biologists at CRL and their colleagues at universities or research institutes.

In the early 1990s AECL and its COG partners constructed the CANDU Life Science Centre at CRL, which remains an excellent physical plant for research into low dose and low dose-rate effects. As a result of the funding constraints, the potential inherent in the facilities of the Life Science Centre to address this important question is not being fully realized.

In response to this crisis, AECL biologists developed a proposal to revitalize their program based on the concept of a National Centre for Radiological Sciences (NCRS), which would develop partnerships in the Centre with other agencies of government, universities and industries. Under this reorganization they would remain positioned to serve the CANDU-specific needs of AECL and COG, as well as to seek out new clients with other needs and to compete in national peer-reviewed funding programs in support of the essential fundamental aspects of their program.

8.4 THE ROLE OF HEALTH CANADA IN THE REPOSITIONING OF BIOLOGY AND HEALTH PHYSICS

As a practical step towards the establishment of the National Centre for Radiological Sciences, AECL engaged in discussions with Health Canada. These led, about a year ago, to an agreement in principle that the radiobiology and health physics programs at CRL should be transferred to the Radiation Protection Branch of Health Canada. The Panel was pleased to learn that an interim agreement was concluded in late July to transfer the R&D programs in radiation biology and health physics and their associated facilities at CRL to the management of Health Canada. The present agreement is for a period of one year during which time the NCRS concept must be developed and implemented.

Under this agreement, the staff attached to the Radiation Biology and Health Physics Branch will be seconded to Health Canada as part of an AECL/Health Canada Interchange Agreement. With funding from Health Canada, ongoing programs can continue; COG contracts and other commercial work will also proceed.

The Panel is pleased that this agreement has been reached. We note that it is an interim agreement. We urge both parties to continue to negotiate a permanent accord that will meet the needs of AECL, COG, the CNSC and the public interest.

8.5 RADIOBIOLOGY FOR THE NUCLEAR INDUSTRY

In the COG assessment of its R&D resources (COG-00-59), recognition was given to the necessity to support radiation measurement capabilities, to understand their significance for workers and to interpret the importance of radiation effects to the public with credibility. In CANDU stations a part of the worker dose results from exposure to tritium and carbon-14. The R&D required to understand and to limit exposures to these isotopes is unlikely to be available through outsourcing or from research programs that support non-CANDU reactor systems. In the opinion of COG, a strong continued capability is also needed in environmental sciences to support the characterization, reduction and management of wastes from plant operations, to understand and minimize their environmental impact, to respond to requirements of the CNSC, and to meet standards for environmental protection. In the longer term, these skills will also be needed to support plant life extension and decommissioning.

The Panel found that there is no clear understanding within COG of its requirements for radiobiological research, possibly because so many pressing issues demand priority. This lack of vision may be a reflection of the short-term view that has dominated in COG since 1996 when their funding was greatly reduced. Plant operators do not agree that they are responsible for supporting the long-term R&D that is needed to understand low dose effects. It was noted that there has been no radiobiology input from CRL into the Environmental Impact Assessment now in progress at the Pickering station.

The current view of radiobiological sciences taken by the utilities reflects good business sense in the short term when resources are tightly limited. On the other hand, it may prove in future to have been somewhat short-sighted. It is an observation of the Panel that the short-term views of

R&D priorities taken by the utilities over the past five years may have left the utilities with only limited capacity to solve the problems that continue to emerge as plants age. In this regard, the lack of a clear plan for the place of biology in the operation of nuclear plants is only an example of a larger problem - that is, the dominance of short-term, over long-term, planning.

Recommendation 2

The Panel recommends to AECL that the restructuring of the Biology Program should ensure that balanced recognition is given to its continuing long-term interests and these should be secured in a strategic plan with a 5-10 year planning horizon.

8.6 RADIOBIOLOGY FOR CANADA

The transfer of the administrative responsibility for the Materials Science Program to the National Research Council is an historical parallel to what is needed for the Biology Program. The national interest requires that there be a radiobiology research program as a basis to protect and inform the public, support the interdisciplinary transfer of technology and to maintain an input into international standards for public safety. The national interest will be better served if the accountability of radiobiological programs is shifted from AECL to a public agency.

The proposed National Centre for Radiological Sciences model will provide the flexibility that the scientists need while allowing AECL to address its corporate needs through an ongoing financial contribution and through contracted research as necessary.

It is instructive to compare the quite different directions that biology programs at AECL and at the American National Laboratories took in the face of financial constraints. While the Canadian scientists were required to constrain their fields of inquiry ever more tightly around issues of CANDU relevance until the viability of the isolated venture could no longer be sustained, the much larger American agencies were able to diversify into intellectually proximate fields. They did this because it was recognized that the tools of radiobiology could be used to study a wide range of biological and environmental issues. In so doing, they attracted new funding and customers and they remain a productive benefit to their nation. These former radiation biology laboratories are now broadly diversified national resources in molecular biology, genomic studies, environmental and medical sciences.

The transition of the biology and health physics program to the Radiation Protection Branch of Health Canada is an interim step toward development of the NCRS concept and a step toward the revitalization of radiation biology in Canada. It is clear that the various stakeholders in the proposed National Centre for Radiological Sciences will have quite different R&D needs with widely differing timelines. It will be a challenging task to develop both long-term strategic and annual operational plans that will meet an acceptable proportion of the expectations. The potential stakeholders are a diverse group and include corporate AECL, the Radiation Protection Branch, the CRL-based biological scientists, COG, the CNSC, university-based researchers through the Canadian Institutes for Health Research (CIHR) and potentially other industries including uranium mining/processing and others. The mission and strategic plan of the Centre must be crafted with care in order to include and balance the diversity of interests. It will be

impossible for the few scientists currently at CRL to respond adequately to the range of interests that the shareholders will bring. A vigorous vision, increased financial support and additions to the current staffing seem to be unavoidable requirements for the concept to succeed. The content of the research program must both meet stakeholder needs and address science issues of the day. As in the American experience, strategic interdisciplinary linkages may be strongly revitalizing. Securing the buy-in of significant stakeholders may take some time and will require resources to achieve.

Recommendation 3

The Panel has previously recommended the funding of a university Chair in Radiobiology. It would seem an opportune time to do this now to help to invigorate the program early in its new administrative structure. In our view, the funding of 1200 new chairs by the federal government presents an opportunity to proceed with this.

Recommendation 4

The Panel recommends that the funding, staffing and scientific program of the National Centre for Radiological Sciences be developed with an emphasis on collaboration so that all potential customers and participants are well satisfied that their needs are given proper consideration.

CHAPTER 9: UNIVERSITY RELATIONSHIPS

9.1 INTRODUCTION

Since its inception, the Panel has recognized the importance of AECL's links with universities. Such links give rise to extensive benefits, not only to AECL and the universities, but to the nuclear industry as well. Some of the advantages that accrue from AECL's university links are the following:

- AECL keeps in touch with young people, who are the pool of developing talent needed for recruitment and who also play an important public relations role.
- Researchers at Chalk River keep abreast of the developments elsewhere in the fundamental aspects of science and engineering; this helps AECL to maintain its position as a leading R&D organization in Canada and abroad – a status that is of importance to potential customers.
- University researchers in nuclear-related subjects are able to bring different but complementary perspectives to technical problems.
- University laboratories can be contracted to study problems that AECL cannot tackle itself because it lacks the resources.

These benefits have changed in relative importance over the past few years because more and more emphasis is now being placed on "engineering" and "development" as opposed to "science" and "research". The single most important factor has been the reduction by half of the parliamentary grant to AECL, which necessitated a considerable decrease in importance of the "National Laboratory" aspect of AECL's activities. A second important factor has involved the restructuring of the CANDU Owners' Group (COG), which has also led to a dramatic reduction in the amount of COG R&D being carried out at AECL (and elsewhere in Canada). An indirect effect of all these reductions and changes has been that the numbers of undergraduate and graduate students, as well as of post-doctoral fellows and professors, working at AECL and elsewhere in the industry have diminished over time. What is even more alarming is the decline in student enrolment in nuclear-related university courses, both graduate and undergraduate, putting into jeopardy the universities' traditional role of providing the nuclear industry with quality graduates to cope with its concerns.

The Panel surveyed AECL's links with universities in its 1999 annual report. In the interim, COG published the result of its R&D Capability Review, as reported in Chapter 3. This COG study was focused on safety-related R&D, and was prompted by regulatory concerns. An important finding of the COG study was that "there is an important need and good support for improved relations with Canadian universities". A major recommendation to the COG members was that "the Canadian nuclear R&D program be reviewed to ensure that funding is provided in a focused and efficient manner to improve collaboration between Canadian universities and the industry". As mentioned in Chapter 3, Section 3.2, of this report, the Panel strongly supports this recommendation. As a follow-up to this recommendation, a COG workshop was held with university professors, including Panel members. Some conclusions of this workshop are reported below. After reviewing AECL's current

links with universities (University Chairs and Research Contracts), we make specific recommendations to AECL regarding University/Industry initiatives.

9.2 NUCLEAR EDUCATION IN UNIVERSITIES

The very significant reductions in R&D funding in Canada and of government and COG R&D funding at AECL have led to a critical situation in succession planning. Many "singleton expertise" areas have been identified in the COG R&D Capability Review. However, being based on regulatory concerns and the utility perspective, the COG report on R&D capabilities did not study the future availability of the expertise required for the continued development of the CANDU technology, mostly at AECL. The Panel strongly supports the view that the NG CANDU and CANDU X programs, as they are currently envisaged, are essential avenues for the development of CANDU technology and the future of AECL. A major concern of the Panel is that adequate funding be provided for R&D so that the program objectives can be met. The Panel is also concerned by potential difficulties in maintaining the core expertise necessary to carry out these R&D programs at AECL.

A reason for this concern is the serious situation that has developed in universities in relation to enrolment in nuclear education programs. The deterioration of nuclear education over the past ten years was documented in a recent OECD study[12], indicating that the trend is worldwide. The number of degrees with a nuclear content awarded in OECD countries has generally decreased by 50% over the last decade. As a general rule, students' perception of the nuclear industry is negative. Student perception is affected by educational circumstances, public perceptions, industry activity levels and government-funded nuclear programs. As the situation stands, the lack of new nuclear power plant construction, privatization and weak government support create an unclear image of the future, with young students believing that job prospects are poor and that there is little interesting research left to do.

As a result, there are fewer students in universities engaged in nuclear related studies, especially top students. There are now fewer courses and programs with a nuclear technology content, both at the undergraduate and graduate levels, in engineering and science faculties. This is particularly the case in fields such as nuclear physics and nuclear and radiation chemistry, radiobiology, nuclear materials and nuclear engineering (including reactor physics and thermalhydraulics). Low enrolment directly affects university budgets and budgetary cuts then limit the faculty and facilities available for nuclear programs. Unless something is done to arrest it, the downward spiral will continue. And as the OECD study indicates, "there will be no quick fix to re-supply the pipeline of students, faculty, researchers, operators and the companion infrastructure."

Some positive developments have been noted in a number of universities. The following examples of "best practices" have been reported in the OECD study, all aiming at improving enrolment:

- create a pre-interest in the nuclear domain, with advertisements aimed at undergraduate candidates, "open days" at research facilities, student tours, newsletters and web pages, resource manuals on nuclear energy for teachers, nuclear introductory courses, and presentations made by members of industry and research institutes;

[12] Nuclear Education and Training : Cause for concern?, Nuclear Energy Agency, OECD (2000)

- add nuclear content to courses in general engineering studies;
- adjust the curriculum in nuclear science and technology education to include advanced courses, to broaden the program and keep pace with the evolution of nuclear technologies, and to develop research areas that are attractive and exciting to students and meet the needs of industry;
- increase pre-professional contacts, via the local nuclear society and "young generation" networks;
- provide scholarships, fellowships, and traineeships;
- strengthen nuclear educational networks;

There are many examples of collaboration between industry and academia in the form of internship programs, lectures by industry experts, scholarships from industry and sponsored professorial chairs. Cooperative research is also widespread, involving students in specific nuclear areas as well as in more general areas of importance to the nuclear industry. Although there is a wide range of initiatives to encourage the younger generation, these vary greatly from one country to another. They are often made by individuals rather than by organizations and there are very few coherent national initiatives. The OECD report concludes with a series of recommendations, aimed at increasing the strategic role of governments, including considerations of education, manpower and infrastructure, at revitalizing nuclear education and increasing collaboration between industry and universities.

So what is the situation in Canada? There are few nuclear engineering programs in Canada and most have been affected by reduced funding to universities by provincial governments. They have also suffered a decline in enrolment,[13] much more severe than the overall decline in graduate programs. Student enrolment in Canadian nuclear science and engineering courses has now reached subcritical levels, with insufficient attendance for some courses to be offered. Also, with insufficient introductory nuclear courses at the undergraduate level, the great majority of graduates from Canadian faculties has no knowledge or understanding of the technology associated with the nuclear industry.

As we have seen from the OECD study, this serious situation is widespread. It is putting at risk the ability for AECL to recruit quality manpower for future R&D programs, even when recruiting abroad. The education, recruitment, and retention of young engineers and scientists for careers in the nuclear industry are essential for its survival. Universities must obviously play a major role in providing quality graduates to cope with existing concerns and with the development of new technology. This is precisely what the COG R&D capability study recognizes with its recommendation on university relations.

9.3 COG WORKSHOP AND UNIVERSITY/INDUSTRY INITIATIVES

The implication of the COG recommendation on university relations is that universities should play a greater role in ensuring future R&D capability. The Panel supports this view. Following the publication of the COG report, Panel members participated with other university professors in a

[13] An example of this is the Nuclear Engineering program at École Polytechnique, which has traditionally maintained a graduate student population between 20 and 30 students between 1980 and 1995. The current enrolment is smaller by half.

workshop organized by COG to specifically review the report's recommendations with respect to the relationship of the utilities with the universities, to develop issues with respect to that relationship and to develop actions. A number of issues were raised, such as:

- the poor perceptions of the nuclear industry and of nuclear power by students (as noted in the OECD study);
- the small size and scattered locations of nuclear programs in Canada;
- the lack of long-term financial commitment, for example, the need for government long-term investment such as the CNF to anchor future student/university interest in the Canadian nuclear program; and
- poor understanding by utilities and the industry of the time-scale involved in producing good graduate students and of the need to carry out non-proprietary (i.e. publishable) R&D work in universities.

Potential solutions were suggested, many of which were identified in the previous section as "best practices" by the OECD. Current arrangements were reviewed and various options explored for maintaining nuclear programs in Canadian universities:

- the possibility of creating a unified nuclear program or joint programs while considering the potential for distance learning;
- focussed and efficient funding for university programs and for the R&D programs to be carried out by universities, including a review of the COG process for R&D funding;
- the continuing education of engineers and scientists, particularly recruits from disciplines such as mechanical, chemical, electrical, or computer engineering, that have had little or no exposure to the nuclear field;
- more involvement by AECL and the utilities in promotion and hiring students, offering scholarship and full-time support for employees, supporting more professorial Chairs, and providing support for courses and lectures by teachers and professors.

The two major issues raised at the COG/university workshop were clearly the need to coordinate the utility/AECL interface with the universities, particularly with respect to the COG R&D program, and the need to coordinate the capabilities of Canadian universities to provide nuclear power-related courses.

With respect to these two issues, the following proposals were made to COG partners:

- There are four technical committees in COG that develop the R&D programs in specific areas. It is proposed to establish a fifth COG Technical Committee called "University Programs". This Technical Committee would take on the coordinated utility/AECL responsibility of allocating a portion of the overall COG R&D program funding specifically to deal with both the issue of maintaining R&D capabilities at the university level and that of providing funds (additional to those that might be spent directly by the utilities and AECL) to ensure that there is an adequate source of graduate engineer/science capability to fulfill the needs of the utilities/AECL.

- AECL/utility funding support for the establishment of a one- or two-person team to run a "Virtual Nuclear University" (VNU). The VNU would be a clearing house/coordinator of university capability in providing courses related to the needs of the industry. It would take responsibility for minimizing overlaps and for encouraging the development of capability in areas of need. The staff would therefore monitor the needs of the industry, and the capabilities of the universities. It would also champion ideas to develop new capabilities or utilize existing capability in new ways that would meet the needs of the industry.

The Panel vigorously supports the proposal of a fifth technical committee in COG, as long as appropriate funding is provided (a level of 10% of the total COG R&D funding would seem reasonable). The Panel recommends that AECL, as a COG partner, support this proposal. Allocation by the industry of a small portion of the R&D funding to universities must not be viewed as charity, or as competition to other providers of R&D. It simply makes sense, considering the urgency of the succession issues. That is why it is important to ensure that most of the COG-funded R&D carried out in universities involves graduate students and that funding is provided on a timely basis for students. Many of the projects funded by the fifth committee could be Masters and Ph.D. projects carried out in Canadian universities or in industrial laboratories.

As for the second proposal, a more appropriate title for the VNU would be Virtual Nuclear Institute (VNI). A good example of the development and sharing of teaching resources that a VNI would foster are the teaching materials prepared by G. Bereznai during his tenure as Chair of Nuclear Engineering at Chulalongkorn University in Thailand. The Panel understands that these materials will be used at McMaster University in their Nuclear Technology diploma program.

Along these lines, another important initiative, called the CANTEACH Documentation Program, has been recently proposed by AECL. With the participation of industry, government and university partners, the aim is to develop a single comprehensive set of education and training documents prepared according to the highest academic standards to describe the various aspects of CANDU power plant technology. The print and electronic material can be shared among partners to provide the material for a wide variety of courses at various levels of education and training, including university level courses with a more fundamental approach. Thus, the CANTEACH program is a documentation program, not an education program per se. The Panel recognizes the strategic importance of CANTEACH and is very supportive of this program. The Panel recommends that AECL pursue funding options with its utility partners.

Other industrial sectors have developed, or are developing, special teaching programs to meet their skills requirements. For example, the National Research Council, University of Ottawa, and Carleton University created an independent organisation known as Vitesse (Reskilling) Canada Inc. to increase the pool of human resources for the knowledge-based industries, and to reskill and retool graduates with traditional skills who wish to change careers into the knowledge-based industry. Initially, this teaching program was supported by one company; in phase two there were seven participating companies, and in phase three there were nine participating companies plus another teaching partner: l'Université du Québec à Hull. This teaching approach is being extended to other areas (photonics, bio-informatics).

This is one of several teaching initiatives that merit consideration by the nuclear industry as it competes with other sectors to hire and retain young engineers and scientists. Another recent example is the formation by the Universities of Toronto, McMaster, Waterloo, and Western Ontario of an Advanced Design and Manufacturing Institute: ADMI. The first responsibility of this institute is to organise a modular Master's Degree program in Engineering Design and Manufacturing. Each course will be presented in a set of two four-day modules. Each module has about 30 hours of lectures, discussion, and application work. The two four-day modules are separated by about six weeks to facilitate the learning process and provide time for adjustments. Each course will be given by one or more professors from the partner universities with a significant teaching input from industrial experts. A similar program in manufacturing and management at the University of Warwick, UK, has been well supported by industry and very successful. As with the Vitesse program, the success of the Warwick program has hinged on support, both financial and teaching, from industry.

9.4 REVIEW OF AECL/UNIVERSITY LINKS

AECL has had many links with universities. These were discussed in previous Panel reports and will again be reviewed with the added perspective of the succession issues raised above. As mentioned before, the education, recruitment, and retention of young engineers and scientists for careers in the nuclear industry depend on the investments made by the industry in the programs described below.

9.4.1 University Chairs

AECL has a long-standing tradition of supporting senior research positions at Canadian universities, early examples being the appointments in materials science at the University of Western Ontario in the mid-1980s, when AECL's materials science activities were curtailed and Chalk River staff moved there. More recently, the Bertram Brockhouse Chair was established at McMaster University in 1998 after AECL made a one-time endowment in 1996.

9.4.1.1 NSERC Industrial Research Chairs

One important aspect of supporting university chairs is that matching funds can often be obtained from other industrial stakeholders and, through NSERC, the federal government. In general, a financial contribution to an NSERC Industrial Research Chair by AECL is matched by one industrial partner or more, and their total is matched by NSERC. By providing seed money and other appropriate support, AECL is able to encourage the development of certain topics of research and specializations; in this way, types of expertise that would otherwise be lacking can be fostered. The initial commitment to an Industrial Research Chair is made for five years; the university commits a tenure-track position to the chair. Once the incumbent is appointed to an Industrial Research Chair and the infrastructure and equipment put in place, graduate students, post-doctoral fellows, visiting professors, etc. arrive to participate in the research of the group.

An Industrial Research Chair may be renewed for another five years, but the NSERC rules for funding the second term are different since only the incumbent's salary, on a sliding scale with the university paying more each year, may be supported by the NSERC funds. The research activities

are then supported by some other NSERC mechanism such as an Industrially Oriented Research grant, for which the incumbent must apply in competition with all other applicants for these grants.

AECL's experience with NSERC Industrial Research Chairs (IRC's) was reviewed in last year's report and is summarized only briefly here.

- IRC in Nuclear Engineering, University of New Brunswick

This was established in partnership with New Brunswick Power in 1984, renewed in 1989, and ended in 1991, when the incumbent, Dr. D. Meneley, became AECL's Chief Engineer at Sheridan Park.

- IRC in Nuclear Engineering, University of New Brunswick

The appointee, Dr. D.H. Lister, is a member of this Panel and is studying corrosion and mass transport problems in reactor coolant systems. The good relationship between this Chair, the Centre for Nuclear Energy Research at this university and the staff at Point Lepreau CANDU 6 station was very evident when the Panel visited in September 2000.

- IRC in Nuclear Engineering, University of Toronto

This was established in partnership with Ontario Hydro in 1989, renewed in 1994, and ended in 1999. The holder of this chair, Dr. B. Cox, carried out research on the corrosion and hydriding of zirconium and its alloys. He is now retired.

- IRC in Applied Mechanics, École Polytechnique

This was approved by NSERC in 1999 December, with B&W Canada and AECL as the industrial partners. The expertise of the chairholder, Professor Michel Pettigrew, is in the area of flow-induced vibration, which can be a life-limiting phenomenon in CANDU components such as heat exchangers and steam generators. The research should provide underlying scientific support for the more applied work being pursued at AECL. It is also hoped that the appointment will help to strengthen the nuclear component of the undergraduate engineering programs at École Polytechnique and to lead to further training of graduate students and post-doctoral researchers in the area of nuclear engineering.

- Areas of Need

In its 1999 report, the Panel recommended the funding of a chair in Radiation Biology, and more recently discussed the need for a chair in Nuclear Metallurgy, with an interest in zirconium alloys. The Panel recommends that AECL and its industrial partners in COG determine whether there are opportunities to help establish jointly funded NSERC Industrial Research Chairs of the type just described. An alternative is to assist the universities in the setting up of Canada Research Chairs, particularly of the Tier II type as discussed in the next section, in nuclear engineering and nuclear and radiation sciences.

9.4.1.2 Canada Research Chairs

A millennium initiative of the federal government is the Canada Research Chairs (CRC) program, which will offer research and salary support for outstanding researchers, beginning in the fiscal year 2000-2001. It is expected that there will be 2000 chairs by 2004-2005 (Tri-Council and CFI Secretariat, April 2000).

CRC chairs will be in priority areas identified by the universities in their strategic research plans. The allocation of research chairs to a university is based on its prior success in obtaining funds from the granting councils. There will be two types of chairs: Seven-year renewable Tier I chairs will attract current research stars, that is, experienced individuals acknowledged by their peers as world leaders in their research fields. Five-year Tier II chairs, renewable once, will attract future research stars, meaning those acknowledged by their peers as having the potential to lead their research fields.

For each Tier I chair, the university will receive $200,000 per year in financial support for seven years. For each Tier II chair, the university will receive $100,000 per year in financial support for five years.

Although AECL and its industrial partners in COG would not be making *direct* contributions to these chairs (in contrast to the case of the NSERC Industrial Chairs), they might be able to influence their formation by offering to contribute operating funds to support appropriate chairs. However, the NSERC option is likely to be the more effective approach, since Canada Research Chairs will be in priority areas identified by the universities themselves.

9.4.2 Other Industrial Chairs

An example of ad hoc industry support for a nuclear engineering program in a Canadian university is provided by the Hydro-Québec Chair in nuclear engineering at École Polytechnique. This chair was created in 1988, and has been renewed twice in continuing support of research and academic programs at the Nuclear Engineering Institute. A scholarship program is also offered to students. The Chair appointee, Dr. D. Rozon, is a member of this Panel.

The Hydro-Québec Chair is largely responsible for the existence of an important nuclear engineering program at École Polytechnique, with over 10 graduate courses offered in Ph.D. and M. Eng. programs, a small-scale thermalhydraulics facility and a freshly fuelled SLOWPOKE reactor. While the HQ chair funding accounted for 20% of the Nuclear Engineering Institute budget over the period 1990-95, it now represents nearly 45% because of the reduced student enrolment and the diminishing university funding. It should be noted that a significant portion of the chair research funds has been used in the past to support the GAN (Groupe d'analyse nucléaire) research group, which specializes in computational reactor physics. The most important contribution of this group to the nuclear industry is the production of the DRAGON code, which is now widely used by AECL and the utilities to accurately model CANDU reactivity mechanisms. DRAGON is now being considered as one of only three industry standard toolset (IST) codes in reactor core physics to be used in licensing studies.

Although renewal of the HQ Chair is essential for the continuation of a nuclear engineering program at École Polytechnique, the student enrolment problem is crucial. As mentioned above, this problem is endemic and a national approach is probably indicated.

9.4.3 Nuclear Engineering Chairs Abroad

Interactions with foreign universities, including the provision of Nuclear Engineering Chairs, have been and continue to be an important activity for AECL. A chair in nuclear engineering at the Institute for Advanced Engineering, Yongin, Korea, was supported by AECL from 1993 to 1999.

As mentioned in the 1999 annual report of the Panel, AECL was a partner with the Electricity Authority of Thailand and the Canadian International Development Agency in establishing a chair in nuclear engineering at Chulalongkorn University in Bangkok. Although this CIDA project concluded in March, 2000, AECL has continued funding the chair holder for the fiscal year 2000-2001 with wider responsibilities, including some teaching at universities in Indonesia, the Philippines, Vietnam, and China.

Of particular interest is the teaching of a CANDU overview course, originally developed for Thailand, at three universities in China, using a distance learning format with interactive multi-media and the Internet.

Another education initiative by AECL in China, in 2000, was the signing of a co-operation agreement between AECL, the Shanghai Nuclear Engineering Research and Development Institute (SNERDI) and Shanghai Jiaotong University to establish an Institute of Advanced Reactor Technology (InART). This institute has been set up to study technologies and systems designs for advanced heavy water reactors as well as to train engineering and scientific staff. This Institute will later include other universities and groups.

The Panel recommends that AECL encourage the development of exchange agreements between InART and universities in Canada.

9.4.4 Research Contracts With Universities

AECL issues substantial research contracts to universities. A list of these contracts was provided in the Panel's 1999 Report. Numerous graduate students have also prepared Masters' and Ph.D. theses on nuclear-related subjects; many of these students took up employment subsequently in firms or agencies that deal with nuclear power. In view of the comments regarding succession planning in previous sections, the Panel recommends that AECL continue this practice.

Contracts are not only a cost-effective way of doing research and of providing important information to AECL, they also play key roles in improving the general understanding both of CANDU technology and of the importance of nuclear power in electricity generation and other applications. Accordingly, university contractors should be seen as partners, and not as competitors, in the achievement of specific scientific and engineering goals.

In Chapter 3, Section 3.2, the proposal that COG establish a fifth technical committee for "University Programs" is discussed. The intent of this arrangement is "to provide a good base of graduates available to enter the industry and also to provide some (university) capability to provide R&D services directly to the total (COG) program." Recommendation 4.2.4 of the COG R&D Capability Review [1], which recommends funding for improved collaboration between universities and the industry, is followed by the statement that "this must be done in a manner that ensures, to the greatest extent possible, that appropriate and challenging industry positions are available for graduates to move into, and to ensure that the services provided by universities are relevant to the needs of industry, and do not overlap with the capabilities of other suppliers of the R&D services."

The Panel is concerned that the last of these three cautions stems from a view that university contractors are merely competitors with other suppliers of R&D services. As mentioned earlier, university contractors should be seen as partners in the achievement of specific R&D goals. Capability overlaps are inevitable and beneficial; they ensure that the industry, including CNSC, has access to independent advice in Canada, and also provide postgraduate degree students with industrial contacts, who should and do participate as co-supervisors.

9.4.5 Students at AECL Laboratories

AECL has a long tradition of hosting undergraduate and graduate students at its laboratories. In addition to the useful work they provided, their involvement in AECL's programs has also served an important public relations function, since it led to an increased understanding of the science and engineering aspects of nuclear power. Students have thus played a role in promoting public acceptance of nuclear power generation as a policy option.

In recent years, however, there has been a decline in the employment of students by AECL. Because of the concerns about the future availability of graduates and the significant recruitment benefits that accrue by providing summer and other (e.g. co-op) jobs at AECL, the Panel recommends that more jobs be made available for university students. Areas identified as "singleton expertise" should be particularly favoured for sponsoring students.

9.5 RECOMMENDATIONS

Recommendation 1

The Panel recommends that AECL continue to support the establishment of University Chairs to complement specific aspects of CANDU development, to help its marketing activities, and to help maintain Canadian expertise in areas of particular interest to AECL. One chair that is clearly of high priority is the one proposed earlier on Radiation Biology. A second should be focused on Nuclear Metallurgy, a highly specialized topic area that is of importance to AECL, but is not adequately covered in Canadian universities. While NSERC chairs are probably of the greatest utility, AECL could also benefit from the new federal government funding of 2,000 research chairs by offering to contribute operating funds to appropriate chairs in selected universities.

Recommendation 2

The Panel recommends that AECL increase the number of jobs for university students, not only in the basic sciences but also in all engineering fields. Singleton expertise areas should be favoured, particularly for graduate students. AECL should also increase its participation in co-op programs in Canadian engineering faculties.

Recommendation 3

The Panel recommends that AECL support the initiative to create a fifth COG technical committee, or equivalent, to coordinate R&D projects at universities, with a specific allocation of R&D funding.

Recommendation 4

The Panel recommends that AECL continue to support the CANTEACH Documentation Program in collaboration with universities.

REFERENCES

1. CANDU Owners Group, "CANDU Research and Development Capability Review (R1), Report COG-01-204, March 2000

APPENDIX A: TERMS OF REFERENCE OF THE RESEARCH AND DEVELOPMENT ADVISORY PANEL TO THE BOARD OF DIRECTORS OF ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED

1. MANDATE

The Research and Development Advisory Panel shall advise the Board of Directors of Atomic Energy of Canada Limited (AECL) respecting the strategic needs, alliances, and direction of the research and development activities of AECL. The Panel shall provide advice to the Board as to whether or not these programs have the appropriate scope, composition, and balance between short- and long-term activities, to sustain AECL's nuclear program, nationally and internationally.

2. DUTIES/RESPONSIBILITIES

To perform its Mandate, the R&D Advisory Panel shall undertake the following duties and specific responsibilities:

- The Panel shall meet not less frequently than three times during each AECL fiscal year to review all the R&D activities of AECL, and the operation of its major research facilities. The Panel shall report regularly to AECL's Board of Directors, including submission of an annual report, respecting the quality, appropriateness and relative size, and the need for any redirection of the scope, resources and priorities of the R&D programs.
- Panel representatives shall participate in the meetings of the Science and Technology Committee of the Board, and provide advice and confidential reports, as appropriate.
- The Panel shall meet regularly with AECL's product engineering and marketing staff to obtain their views on the R&D programs.
- The Panel shall meet periodically with representatives of Canadian utilities to discuss their needs and requirements so as to reflect these in the Panel's advice to the Board of Directors.
- In examining and advising on existing and proposed national and international scientific collaboration, the Panel shall also evaluate AECL's current and potential relationships with Canadian universities, and other post-secondary educational institutions, and organizations in the public and private sector conducting Canadian nuclear-related research.
- Members of the Panel may, after appropriate consultation with AECL, appear before properly constituted boards, commissions or committees of the federal or provincial governments in order to comment on all matters relevant to its Mandate.

APPENDIX B: PANEL MEMBERSHIP

D.A. (David) Armstrong, BSc, PhD
Faculty Professor, Department of Chemistry
University of Calgary
2500 University Drive N.W.
Calgary, Alberta. T2N 1N4

R.L. (Robin) Armstrong, BSc, PhD
Professor Emeritus
Department of Physics
University of Toronto
60 St. George Street
Toronto, Ontario. M5S 1A1

D.J. (David) Burns, BSc, PhD, FASME, P.Eng.
Professor of Mechanical Engineering
University of Waterloo
Waterloo, Ontario. N6A 3G1
(2000 Chairman)

A.A. (Albert) Driedger, MD, PhD, FRCPC (Med & Nuc Med), FACP, FACPE
Department of Nuclear Medicine
London Health Sciences Centre
800 Commissioners Road East
London, Ontario. N6A 4G5

J. (Jon) Jennekens, OC, FCAE, BSc, P.Eng.
Jonor & Associates
1815 Dorset Drive
Ottawa, Ontario. K1H 5T7

J.J. (John) Jonas, OC, C.Q. FRSC, FASM, FCIM, FCAE, PhD, P.Eng.
Birks Professor of Metallurgy and
Co-Director, McGill Metals Processing Centre
Department of Mining & Metallurgical Engineering
McGill University
3610 University Street
Montreal, Québec. H3A 2B2

D.H. (Derek) Lister, BSc, MSc, PhD, C.Eng.
Chair, Nuclear Engineering
University of New Brunswick
P.O. Box 4400
Fredericton, New Brunswick. E3B 5A3

E.A. (Ernest) McCulloch, OC, MD, FRCP(C) FRSC, FRS
Senior Scientist Emeritus
The Ontario Cancer Institute
Princess Margaret Hospital
610 Univeristy Avenue
Toronto, Ontario. M5G 2M9

G.G. (Gilles) Patry, BEng, MEng, PhD, P.Eng.
Vice-Rector (Academic)
University of Ottawa
50 Cumberland Street
Ottawa, Ontario. K1N 6N5

J.T. (Terry) Rogers, BEng, MEng, PhD, P.Eng.
Professor Emeritus
Mechanical and Aerospace Engineering
Carleton University
1125 Colonel By Drive
Ottawa, Ontario. K1S 5B6

D. (Daniel) Rozon, BA, BScA, MScA, PhD, FCNS, P. Ing.
Professeur de génie nucléaire
Département de génie physique
École Polytechnique de Montréal
Montréal, Québec. H3C 3A7

APPENDIX C: PANEL PUBLICATIONS AND SUBMISSIONS

REPORTS

- Report of the AECL Research & Development Advisory Panel for 1999
- Report of the AECL Research & Development Advisory Panel for 1998
- Report of the AECL Research & Development Advisory Panel for 1997
- Report of the AECL Research & Development Advisory Panel for 1996
- Report of the AECL Research & Development Advisory Panel for 1995
- Report of the AECL Research & Development Advisory Panel for 1994
- Report of the AECL Research & Development Advisory Panel for 1993
- Report of the AECL Research & Development Advisory Panel for 1992

SUBMISSIONS/PAPERS

- Submission to the Science and Technology Review Secretariat of Industry Canada, 1994 September
- Submission to the Environmental Review Panel for the Nuclear Fuel Waste Disposal Concept, 1995 August
- Submission to the Parliamentary Sub-Committee on Natural Resources on Bill to Review Nuclear Safety Act, 1996 October
- *The Importance of the Canadian Neutron Facility to the Support and Future Development of CANDU Reactors*, 1998 November
- Presentation to Natural Resources Canada on Consultation on Options for Federal Oversight of Nuclear Fuel Waste Management and Disposal, 1999 February 17
- Submission prepared at the request of Natural Resources Canada, *A Rationale for Canadian Expenditure on Nuclear Research and Development in the 21st Century*, 1999 May 14
- A report for Senior Levels of Government, *Vision 2020 and Beyond - The Need for Nuclear Research and Development in the 21st Century*, 1999 September
- Presentation to CNSC Public Hearing on Pickering NGS-A Return to Service, 2000 December 14
- Presentation to the Canadian Nuclear Safety Commission Public hearing on Environmental Assessment of Pickering Nuclear Generating Station A Return to Service, 2000 December 14

APPENDIX D: FREQUENTLY USED ABBREVIATIONS/ACRONYMS

Abbreviation/Acronym	Definition
AECL	Atomic Energy of Canada Limited
CANDU-X	Advanced CANDU Reactor Concept
CANDU®	CANadian Deuterium Uranium Reactor
CANFLEX®	CANDU Flexible Fueling
CANFLEX-SEU	CANFLEX with Slightly-Enriched Uranium Fuel
CANFLEX-NU	CANFLEX with Natural Uranium Fuel
CATHENA	Canadian Algorithm for Thermalhydraulic Network Analysis
CANTHERM	A new composite fuel channel design for CANDU-X
CNF	Canadian Neutron Facility
COG	CANDU Owners Group
CNSC	Canadian Nuclear Safety Commission (formerly Atomic Energy Control Board (AECB))
CHF	Critical Heat Flux
CRL	Chalk River Laboratories
GAI	Generic Action Items
GHG	Greenhouse Gases
IAEA	International Atomic Energy Agency
IRC	Industrial Research Chair
LEU	Low-Enriched Uranium
LSFCR	Large Scale Fuel Channel Replacement
LWR	Light Water Reactor
MAPLE	Multipurpose Applied Physics Lattice Experiment

NCRS	National Centre for Radiological Sciences
NG-CANDU	Next Generation CANDU
NPMR	Neutron Program for Materials Research
NRC	National Research Council
NRCan	Natural Resources Canada
NRU	National Research Universal Reactor
NSERC	Natural Sciences and Engineering Research Council
OPG	Ontario Power Generation (Before April 1999 – Ontario Hydro)
PLIM	Plant Life Management
PRA	Probabilistic Risk Assessment
PSA	Probabilistic Safety Assessment
PWR	Pressurized Water Reactors
SCW	Supercritical Water
SEU	Slightly Enriched Uranium
SSC	Systems, Structures and Components
USNRC	US Nuclear Regulatory Commission
VHP	Very-High Pressure

APPENDIX E: PANEL ACTIVITIES

Meeting #33, March 8-10, 2000 - Sheridan Park, Mississauga	
Presentation	**Name/Title of Presenter**
International Nuclear Research Partnership	D.F. Torgerson
CNF Update	I.J. Hastings
Advances in Plant Life Extension	K.R. Hedges
NRCan's Update on Nuclear Energy in Canada	B. Moore
The New COG and its R&D Focus	P. Tighe
R&D Capability Review	K.R. Hedges/A. White
AECL's Strategy on Climate Change	B. Rozendaal
Business Intelligence and AECL	M.S. Lloyd
AECL Opportunities with Canadian Government Influencers	D. Jackson

Meeting # 34- May 17-19, 2000 - Chalk River	
Presentation	**Name/Title of Presenter**
Feeder Thinning Program	T.S. Gendron, A.J. Elliot, Z. Walker, D.S. Mancey
UNB Feeder Thinning Program & Perspectives	D.H. Lister
NG CANDU Program	R. Duffey, J.M. Hopwood
CANDU-X	S.J. Bushby
Facilities for the Future	P.J. Fehrenbach
Progress Towards a CANDU Textbook	D.A. Meneley
Design and Licensing Codes Update	P.J. Fehrenbach
Essential R&D	D.F. Torgerson
Update on Radiation Biology & Health Physics	J. Cornett

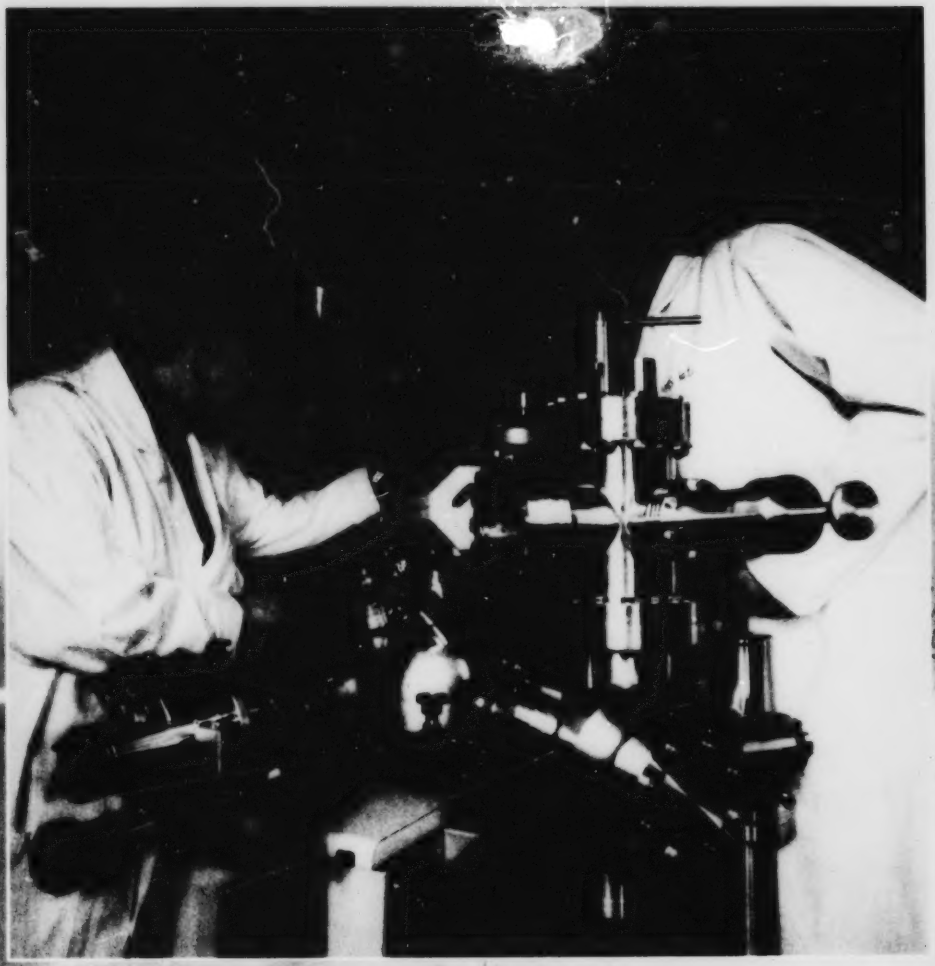
F2

Meeting # 35, September 27-30, 2000 – Fredericton, N.B.	
Presentation	**Name/Title of Presenter**
Safety & Licensing Concerns	B. Pilkington
Age Management Program	S. Groom/L. Delong
Refurbishment of Point Lepreau	S. Groom
Nuclear R&D Needs	R. White, S. Groom
COG's R&D Strategic Plan for CANDU Utilities	V. Langman

Meeting # 36, December 7-9, 2000 - Sheridan Park, Mississauga	
Presentation	**Name/Title of Presenter**
Update on COG Capability Review	A. White
Canadian Public Attitudes to Nuclear Power	H. Douglas
Introduction to e-Business	I.J. Hastings
Seamless Calandria Tube	M. Puls

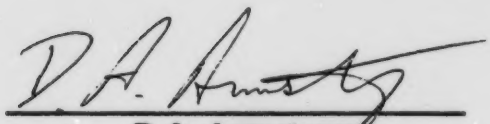
R&D Advisory Panel Subcommittee Meetings		
Date	**Participants**	**Title**
June 22-23	R. Duffey, D. Wren, S. Bushby, H. Rummens, A. Miller, D. Torgerson	NG-CANDU and CANDU-X
July 6	B. Moore, G. Campbell, J. Stone, P. Giroux, I. Smith, C. McDermott	CANDU role in combating global warming and CNF
July 11	I. Hastings, K. Hedges, B. McDonald	CNF and Code Management
August 17	A. Carty, B. Buyers	CNF
August 17-18	J. Harvie, P. Wigfull, M. Taylor, J. Blythe, G. Ishaak, A. Biron, J. McManus, G. Mallory	Nuclear Regulatory Environment
August 30	J.S. Chang, G. Evans, B. Garland, V. Langman, B. Lewis, M. Lightstone, J. McKinnon, D. Nowak, F. Steward, P. Tighe, D. Tucker, A. White	COG and University Relations

Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 2000

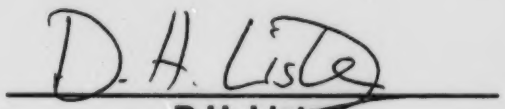


La couverture représente l'appareil XPS (spectroscopie de photoélectrons X) utilisé pour l'analyse de surface des solides dans le cas de tous les éléments à l'exception de H. Il permet d'obtenir facilement l'information sur l'état chimique et d'effectuer l'analyse des couches minces. Ses limites de détection sont de l'ordre de 0,01 % atomique.

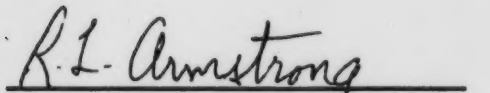
Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 2000



D.A. Armstrong

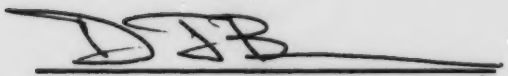


D.H. Lister

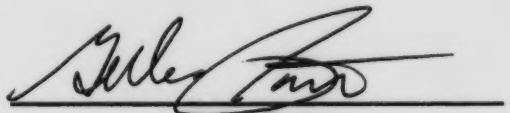


R.L. Armstrong

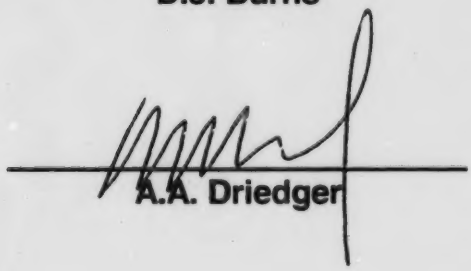
E.A. McCulloch



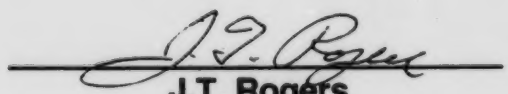
D.J. Burns



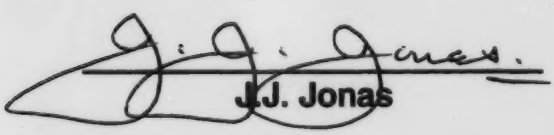
G.G. Patry



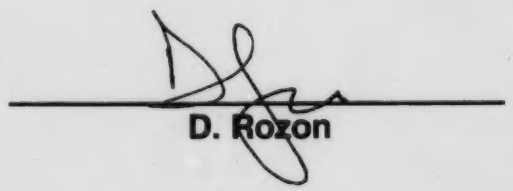
A.A. Driedger



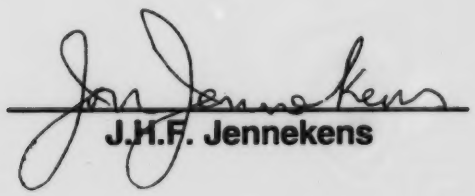
J.T. Rogers



J.J. Jonas



D. Rozon



J.H.F. Jennekens

TABLE DES MATIÈRES

		Page
Chapitre 1 :	INTRODUCTION	1
Chapitre 2 :	VISION 2020 et au-delà – une mise à jour	3
	2.1 Initiatives du gouvernement	3
	2.1.1 Non-prolifération nucléaire – Recherche sur le combustible MOX	3
	2.1.2 Santé	4
	2.2 Un réacteur de recherche pour la recherche fondamentale sur les matériaux et la recherche particulière au réacteur CANDU	4
	2.3 Changement climatique et rôle positif de l'énergie nucléaire	5
	2.3.1 Introduction	5
	2.3.2 Émissions de gaz à effet de serre et réacteurs CANDU	6
	2.3.3 Autres applications des réacteurs CANDU	11
	2.3.4 Points de vue internationaux sur l'énergie nucléaire et le changement climatique	12
	2.3.5 Conclusions et recommandations	13
Chapitre 3 :	Examen des capacités de recherche et développement	16
	3.1 Introduction	16
	3.2 Examen de la capacité de recherche et développement CANDU par le GPC	17
	3.3 Évaluation par la CCSN du milieu de R et D changeant	23
Chapitre 4 :	Réacteurs CANDU avancés – Partie 1 : Le réacteur CANDU de la nouvelle génération	25
	4.1 Introduction	25
	4.2 Objectifs pour le modèle NG CANDU	26
	4.3 Le modèle NG CANDU	26
	4.3.1 Méthode pour une conception optimisée	26
	4.3.2 Paramètres clés du réacteur NG CANDU	27
	4.3.3 Sûreté passive améliorée pour le réacteur NG CANDU	29
	4.3.4 Exploitabilité améliorée du réacteur NG CANDU	30
	4.4 Exigences de recherche et développement pour le réacteur NG CANDU	30
	4.4.1 Combustible et grappes de combustible	31
	4.4.2 Canaux de combustible et composants associés	31
	4.4.3 Composants et systèmes	32
	4.4.4 Contrôle-commande et instrumentation	32
	4.4.5 Technologie de la sûreté	33
	4.4.6 Émissions et gestion des déchets	33
	4.4.7 Installations de R et D principales pour le réacteur NG CANDU	33
	4.5 Le réacteur NG CANDU type de réacteur de la 4^{e} génération	34
	4.6 Conclusions et recommandations	35
Chapitre 4 :	Réacteurs CANDU avancés – Partie 2 : Le concept CANDU X	39

	4.7	Introduction	39
	4.8	Modèles conceptuels CANDU X	41
		4.8.1 CANDU X Mark 1	41
		4.8.2 Concept CANDU X CN	41
		4.8.3 Concepts CANDUal X1 et CANDUal X2	42
		4.8.4 Concept CANDU X CD	42
		4.8.5 Avantages des modèles CANDU refroidis par eau surcritique par rapport aux modèles REP refroidis également par eau surcritique	42
	4.9	R et D sur les technologies habilitantes pour le réacteur CANDU X	43
		4.9.1. Devis préliminaire du réacteur	43
		4.9.2. Plan conceptuel de la centrale et modèle de coût	43
		4.9.3. Concept du canal de combustible à isolation interne	44
		4.9.4. Cycles du combustible et grappes de combustible	44
		4.9.5. Thermohydraulique physique du réacteur et chimie	45
	4.10	Conclusions et recommandations	45
Chapitre 5 :	Gestion de la vie utile de la centrale		48
	5.1	Introduction	48
	5.2	Gestion de la vie utile des centrales pour les réacteurs CANDU 6	48
	5.3	Remise en état de Pointe Lepreau	52
Chapitre 6 :	Milieu de réglementation nucléaire		56
	6.1	Introduction	56
	6.2	Le processus de réglementation pour les réacteurs nucléaires au Canada	57
		6.2.1 Réglementation informée sur le risque	57
		6.2.2 Évolution de l'évaluation probabiliste des risques au Canada	58
		6.2.3 Évaluation environnementale en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*	60
	6.3	Réglementation nucléaire et ressources humaines	60
	6.4	Examen du GPC sur les capacités de R et D nucléaire au Canada	61
	6.5	Conclusions	62
Chapitre 7 :	Gestion des codes de calcul pour l'analyse de conception et de sûreté		64
	7.1	Introduction	64
	7.2	Assurance qualité du logiciel et homologation des codes	64
	7.3	Validation des codes de calcul	64
	7.4	Codes de calcul de la boite à outils standard de l'industrie	65
	7.5	Comité de gestion des codes et centres des codes	65
	7.6	Élaboration des codes pour le réacteur NG CANDU	66
	7.7	Conclusions et recommandations	67
Chapitre 8 :	Programme de radiobiologie et de radioprotection		69
	8.1	Introduction	69
	8.2	GPC et radiobiologie	70
	8.3	Le programme de radiobiologie des LCR	70
	8.4	Le rôle de Santé Canada dans le repositionnement de la biologie et de la radioprotection	72

	8.5	Radiobiologie pour l'industrie nucléaire	72
	8.6	Radiobiologie pour le Canada	73
Chapitre 9 :	Relations avec les universités		75
	9.1	Introduction	75
	9.2	Enseignement en génie nucléaire dans les universités	76
	9.3	Atelier du GPC et initiatives universités-industrie	78
	9.4	Examen des liens EACL-universités	81
		9.4.1 Chaires d'universités	81
		9.4.2 Autres chaires industrielles	83
		9.4.3 Chaires de génie nucléaire à l'étranger	84
		9.4.4 Contrats de recherche avec les universités	84
		9.4.5 Étudiants aux laboratoires d'EACL	85
	9.5	Recommandations	86
Annexe A :	Mandat du Comité de recherche et développement au Conseil d'administration d'Énergie atomique du Canada limitée		87
Annexe B :	Membres du Comité		88
Annexe C :	Publications et communications		89
Annexe D :	Liste des abréviations et des acronymes		90
Annexe E :	Activités du Comité		92

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Le présent rapport est le neuvième Rapport du Comité consultatif de recherche et développement (Comité). Dans le cadre de la préparation de ce rapport, le Comité s'est réuni à quatre occasions pour au total 12 jours afin d'étudier les articles du personnel scientifique, ainsi que du personnel d'ingénierie du produit et du marketing d'Énergie atomique du Canada limitée (EACL), et des conférenciers invités de l'industrie et du gouvernement. Il y a eu également de nombreuses autres réunions que les équipes de travail du Comité ont tenues au cours de l'année pour recueillir des informations et pour développer les données présentées dans ce rapport.

En septembre 1999, EACL a publié un rapport du Comité sur le besoin de recherche et développement nucléaire au XXI^{e} siècle. Ce rapport intitulé *Vision 2020 et au-delà* était une adaptation d'un rapport antérieur que le Comité avait rédigé à l'invitation de Ressources naturelles Canada (RNCan). La figure 1.1 est tirée du rapport *Vision 2020 et au-delà*. Elle montre comment la recherche et développement ainsi que les produits de la science et du génie nucléaires ont des conséquences directes ou indirectes sur la vie de tous les jours des Canadiens et des Canadiennes. Une mise à jour de certaines de ces zones d'impact est donnée au chapitre 2 du présent rapport.

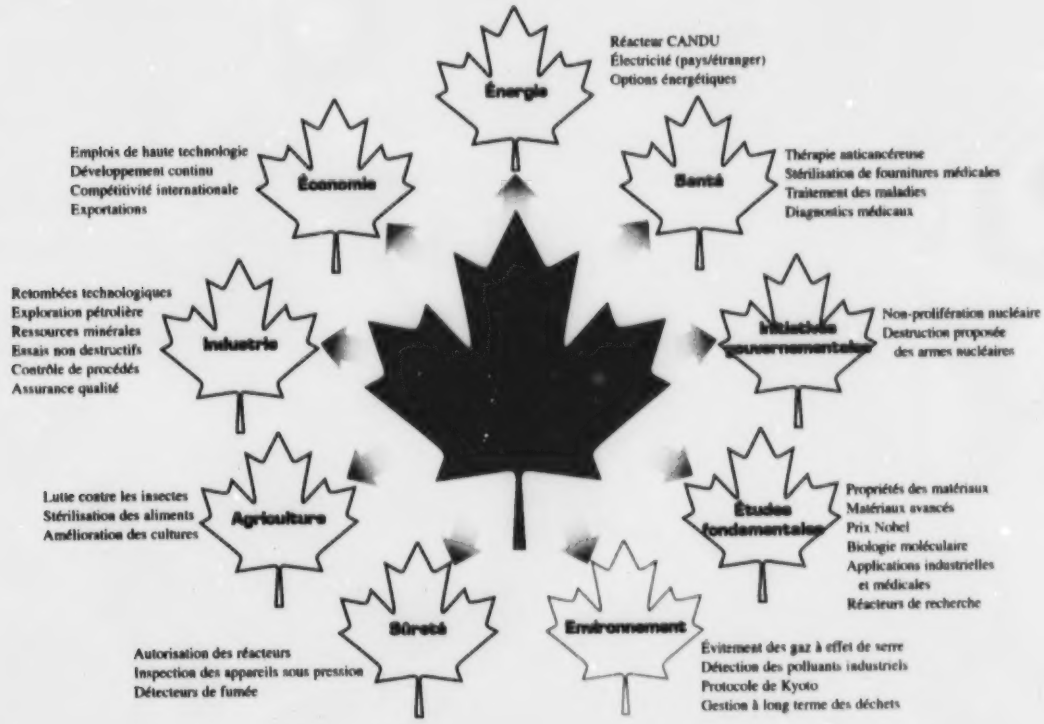


Figure 1.1

Les rapports annuels antérieurs du Comité ont abordé la question des réductions à grande échelle au cours des cinq dernières années du financement de la recherche et développement en sciences et génie nucléaires. La perte associée de capacité, d'infrastructure et de personnel essentiels est traitée au chapitre 3.

Un fait marquant au cours de l'année a été les progrès d'EACL réalisés dans la définition du réacteur de puissance de la nouvelle génération, le réacteur NG CANDU qui demandera des dépenses d'immobilisation bien inférieures par rapport à celles des modèles actuels, les réacteurs CANDU 6 et CANDU 9. Le chapitre 4 prend en compte les exigences de R et D pour ce nouveau type de réacteur ainsi que pour la recherche sur le concept à bien plus long terme, le réacteur CANDU X.

EACL travaille actuellement avec Énergie Nouveau-Brunswick (NB) sur la gestion de la vie utile du réacteur CANDU 6 à Pointe Lepreau. Elle participe également de façon très active à la remise en état des réacteurs de Pickering A qu'*Ontario Power Generation* (OPG) prévoit remettre en service à compter de 2001. La gestion et la remise en état des réacteurs CANDU par les producteurs d'électricité canadiens représentent un secteur commercial important pour EACL qui fait appel à l'expérience en conception et en recherche et développement. La gestion de la vie utile est abordée au chapitre 5.

Les éléments clés de la vie utile des centrales et l'élaboration de nouveaux modèles, comme le réacteur NG CANDU sont des exigences de l'organisme de réglementation. Le chapitre 6 prend en compte le milieu réglementaire. Le chapitre 7 est une mise à jour sur la gestion des codes de calcul à EACL, sujet traité partiellement par un sujet générique (SG) de l'organisme de réglementation.

Les partenariats de recherche et développement sont traités aux chapitres 8 et 9. Les progrès réalisés dans le repositionnement du programme de radiobiologie et de radioprotection sont pris en compte au chapitre 8. Les relations d'EACL et des producteurs d'électricité avec les universités sont étudiées au chapitre 9.

Le mandat du Comité consultatif de recherche et développement au Conseil d'administration d'Énergie atomique du Canada limitée est donné l'annexe A. La liste des membres du Comité et leurs affiliations figure à l'annexe B.

CHAPITRE 2 : VISION 2020 ET AU-DELÀ – UNE MISE À JOUR

Vision 2020 et au-delà est un rapport de 1999 du Comité sur les besoins de recherche et développement nucléaire au XXI^{e} siècle. La figure 1.1 montre comment la R et D et les produits des sciences et du génie nucléaires ont des conséquences directes ou indirectes sur la vie de tous les jours des Canadiens et des Canadiennes. Une mise à jour sur certaines de ces zones d'impact est donnée ci-après.

2.1 INITIATIVES DU GOUVERNEMENT

2.1.1 Non-prolifération nucléaire – Recherche sur le combustible MOX

Les États-Unis et la Russie ont accepté de démanteler en partie leur arsenal nucléaire. Il en résulte que chaque pays aura environ 50 tonnes de plutonium de qualité militaire à stocker ou à éliminer. Si l'on convertit ce plutonium de qualité militaire excédentaire en un combustible à mélanges d'oxydes (MOX), on peut l'utiliser dans les centrales nucléaires pour produire de l'électricité, ce qui rend le plutonium inutilisable à des fins militaires.

En septembre 1999, le gouvernement fédéral a annoncé qu'il effectuerait des expériences sur les échantillons d'essai de combustible MOX provenant des États-Unis et de Russie dans le cadre de la participation du Canada à une initiative internationale de non-prolifération pour assurer l'élimination sûre du plutonium de qualité militaire.

Le combustible MOX pour ces expériences effectuées aux Laboratoires de Chalk River a été importé au Canada sous la forme de pastilles composées d'environ 3 % d'oxyde de plutonium et d'environ 97 % d'oxyde d'uranium. Comme dans le cas du combustible à uranium naturel utilisé dans les réacteurs de puissance CANDU, la quantité de rayonnement provenant du MOX est si faible qu'elle ne présente pas de risque important pour la santé et la sécurité. Le combustible MOX est une céramique massive stable et n'est pas une poudre que l'on peut inhaler. La quantité totale de plutonium de chaque colis était d'environ 120 grammes.

Les échantillons de MOX fournis par les États-Unis et la Russie sont actuellement utilisés pour assembler trois grappes de combustible qui doivent être irradiées dans le réacteur de recherche NRU. Les premières grappes MOX seront chargées à la fin 2000. La durée de ces irradiations est de trois à quatre ans. Une fonction essentielle du réacteur NRU a toujours été d'évaluer les nouveaux types de combustible.

Ce programme de recherche aux Laboratoires de Chalk River, comprenant l'envoi à cet établissement de pastilles à l'intérieur d'une gaine de zirconium et d'un conteneur spécial, a suscité des préoccupations inutiles du public. Le personnel à Chalk River manipule des isotopes de plutonium en toute sécurité dans ses laboratoires et ses réacteurs de recherche depuis les années 40. En outre, l'expédition à Chalk River de composants radioactifs, dont le combustible irradié des centrales, en vue de leur examen dans les cellules chaudes est une pratique courante qui fait l'objet de règles et règlements de sûreté les plus rigoureux.

Il est malheureux que les arguments irrationnels contre ces envois n'aient pas été contrebalancés par la reconnaissance du public que le cobalt 60 utilisé pour la thérapie anticancéreuse et les radio-isotopes à courte période pour la médecine nucléaire sont expédiés couramment au Canada et à bien d'autres pays dans le monde entier. Les risques associés à la production et à l'expédition de ces matières radioactives sont très faibles par rapport à leurs avantages pour la médecine. Les risques associés à la production, à l'expédition et à l'évaluation du combustible MOX sont également très faibles par rapport à la contribution de R et D que le Canada aura faite d'ici 2004 en établissant une méthode pour l'élimination du plutonium de qualité militaire, réduisant par là même le risque de vol et de prolifération. Il convient probablement d'insister sur le fait que c'est l'opinion d'un comité qui comprend des spécialistes en recherche sur le cancer, en médecine nucléaire, en génie nucléaire et un ancien secrétaire général de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), responsable de la non-prolifération nucléaire.

2.1.2 Santé

Le Canada est le producteur et fournisseur principal au monde de cobalt 60 utilisé dans la thérapie anticancéreuse et de radio-isotopes à courte période pour la médecine nucléaire. En 2000, la construction de deux nouveaux réacteurs MAPLE a été réalisée aux Laboratoires de Chalk River pour la production de radio-isotopes médicaux. Au cours d'une de ses réunions à Chalk River, le Comité a visité ces réacteurs ainsi que la Nouvelle Installation de traitement des isotopes. Ces réacteurs ont été conçus et seront exploités par EACL pour MDS Nordion Inc., créée à partir d'une retombée technologique d'EACL en 1991.

Quand ces nouvelles installations auront été mises entièrement en service, le réacteur de recherche NRU d'EACL cessera de produire des radio-isotopes. Le réacteur NRU est en service depuis 43 ans, et la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) a été avisée qu'il serait arrêté au plus tard en 2005. Une fois ce réacteur arrêté, EACL n'aura plus accès à un réacteur de recherche canadien pour la R et D sur les matériaux et les composants pour les modèles de réacteurs de puissance CANDU existants et nouveaux. Les chercheurs canadiens sur les matériaux avancés seront alors sérieusement pénalisés par la perte de sources de faisceaux de neutrons du réacteur NRU.

2.2 UN RÉACTEUR DE RECHERCHE POUR LA RECHERCHE FONDAMENTALE SUR LES MATÉRIAUX ET LA RECHERCHE PARTICULIÈRE AU RÉACTEUR CANDU

Depuis sa création, le Comité s'est fait le défenseur inconditionnel d'un nouveau réacteur de recherche, maintenant appelé Centre canadien de neutrons (CCN), pour remplacer le réacteur NRU. Le réacteur du CCN proposé est une variante de la technologie du réacteur MAPLE d'EACL et a été conçu pour satisfaire les besoins de R et D des réacteurs de puissance CANDU existants ou nouveaux et pour la recherche sur les matériaux avancés en utilisant les faisceaux de neutrons. Une différence essentielle entre le réacteur NRU et le CCN est que celui-ci disposera d'une source froide pour les faisceaux de neutrons, ce qui permettra aux scientifiques de bien mieux comprendre la structure moléculaire des matières biologiques.

La proposition du CCN a été prise en compte par le Cabinet, mais n'a pas fait partie du budget fédéral de février 2000. EACL, en tant que société d'État, continue à appuyer le CCN par l'intermédiaire de la Division de l'énergie nucléaire de RNCan. Le Conseil national de recherches Canada (CNRC) se fait le champion du CCN pour la recherche sur les matériaux avancés par le biais de son ministère, Industrie Canada. Certains membres du Comité ont rencontré le président du CNRC au cours de l'été. On leur a dit que l'approbation du financement du CCN était une des trois priorités du CNRC.

En prévoyant que le financement du CCN sera approuvé en 2000 ou en 2001, EACL a formé un comité de sélection du site pour étudier où le CCN doit être situé à Chalk River. Une recommandation du comité a été présentée à la direction en juillet 2000. Il s'agit d'une première étape importante pour l'évaluation environnementale qui sera nécessaire et qui prendra environ deux ans. La période de six ans nécessaire pour l'évaluation environnementale, la construction et la mise en service du CCN indique qu'il y aura un vide (vide neutronique) d'environ deux ans entre la fermeture du réacteur NRU et la mise en service du CCN. Pour des raisons techniques et autres, les chercheurs des universités et le personnel d'EACL ont toujours fait de la recherche dans des réacteurs de recherche étrangers. Pendant la période du vide neutronique, ce sera la seule possibilité. Pour EACL, cette solution n'est pas uniquement onéreuse, mais elle présente également des limites au point de vue technique et est très difficile à gérer si le vide neutronique dure bien plus de deux ans.

Le Comité est convaincu qu'un vide neutronique prolongé sera préjudiciable à la crédibilité d'EACL en tant que fournisseur de réacteurs. Ailleurs dans le présent rapport (chapitre 4, partie 1) le Comité examine les exigences de conception et de R et D du réacteur de puissance NG CANDU proposé. On doit évaluer les grappes de combustible pour ce réacteur ainsi que n'importe quel autre combustible nouveau comme le MOX, en irradiant des grappes intégrales dans un réacteur de recherche avant que le producteur d'électricité et l'organisme de réglementation décident d'autoriser les essais de performance dans un réacteur de puissance.

2.3 CHANGEMENT CLIMATIQUE ET RÔLE POSITIF DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

2.3.1 Introduction

Par l'intermédiaire de sa société d'État, EACL, et en exportant des réacteurs de puissance, le gouvernement fédéral contribue à réduire le nombre de centrales à combustible fossile qui seraient construites au fur et à mesure que les économies se développent, en réduisant par là même le taux de croissance des émissions dangereuses, y compris les gaz à effet de serre (GES). Le Comité continue à prendre part aux débats sur le changement climatique.

Dans son rapport de 1999, le Comité a examiné la question du changement climatique mondial et le rôle des GES dans ce phénomène. Le Comité a signalé que les scientifiques sont unanimes : les émissions croissantes de GES, et particulièrement le dioxyde de carbone (CO_2) provenant de la combustion des combustibles fossiles, augmentent les températures mondiales qui, faute de mesures atténuantes, entraîneront un changement climatique mondial avec des conséquences sociales et économiques graves.

La réponse internationale à cette question a débouché sur la conférence sur le changement climatique mondial à Kyoto, au Japon, en 1997 au cours de laquelle les pays développés ont promis de réduire les émissions de GES au-dessous des niveaux de 1990 par des quantités données sur la période allant de 2008 à 2012. En vertu du Protocole de Kyoto, le Canada s'est engagé à réduire les émissions de GES de 6 % par rapport aux émissions de 1990 nominalement d'ici 2010.

Étant donné qu'une centrale nucléaire, contrairement à une centrale à combustible fossile, ne produit pas d'émissions de GES, l'énergie nucléaire offre un moyen important de respecter les engagements de Kyoto tout en satisfaisant les besoins énergétiques du monde entier. Ainsi, la question du changement climatique mondial nécessite le maintien et la croissance de l'énergie nucléaire pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux croissants.

Cette section du chapitre 2 est une mise à jour de la section du rapport du Comité consultatif de 1999 sur ce sujet.

2.3.2 Émissions de gaz à effet de serre et réacteurs CANDU

2.3.2.1 Émissions de gaz à effet de serre au Canada et rôle des réacteurs CANDU

Les émissions de GES au Canada, selon la mise à jour [1] de la référence [2] citée dans le rapport du Comité de 1999, sont composées[1] principalement de dioxyde de carbone (CO_2, 76 %), de méthane (CH_4, 13 %) et d'oxyde nitreux (N_2O, 10 %). Environ 83 % du total sont attribuables aux activités énergétiques : utilisation finale de l'énergie, 52 % (provenant principalement du transport), production d'électricité, 16 % et stocks de combustibles fossiles, 14 %. Les émissions totales de GES au Canada en 1990 ont été estimées à la référence [1] à environ 601 millions de tonnes (Mt) dont environ 461 Mt de CO_2. Les projections de la référence [1] indiquent que les émissions totales de GES au Canada atteindraient 764 Mt d'ici 2010, dont 595 Mt de CO_2 si aucune mesure d'atténuation n'était prise. Pour respecter ses engagements en vertu du Protocole de Kyoto, le Canada devra réduire ses émissions annuelles totales de GES de 199 Mt et ses émissions de CO_2 d'environ 160 Mt[2] au-dessous du scénario de «maintien du statu quo» d'ici 2010.

Comme l'a indiqué le Comité dans son rapport de l'an dernier, en utilisant des centrales nucléaires CANDU plutôt que des centrales à combustible fossile, le Canada a évité des émissions importantes de CO_2 au cours des années depuis que le premier réacteur CANDU a été couplé au réseau en 1962. Dernièrement, Ressources naturelles Canada a calculé à nouveau les émissions évitées grâce à l'utilisation de l'énergie nucléaire au Canada et a conclu qu'environ 1 440 Mt de rejets ont été évités jusqu'à la fin de 1999 [3], soit bien plus que les estimations antérieures. En outre, environ 67 Mt d'émissions de CO_2 ont été évitées en ayant recours à la production d'énergie nucléaire en 1999, même si les centrales Pickering A et Bruce A ont continué à être mises sous cocon. Comme le Comité le signale dans son rapport de 1999, il serait

[1] Pour plus de commodité, les quantités de GES sont indiquées en quantités équivalentes de CO_2, les GES prédominants.

[2] À noter que cette réduction prescrite est supérieure de 40 Mt à l'estimation donnée dans le rapport du Comité de 1999.

encore plus difficile pour le Canada de respecter ses engagements de Kyoto sans la contribution continue de l'énergie nucléaire.

Le Comité a calculé les émissions de CO_2 provenant de la production d'électricité au Canada pour les toutes dernières années [4]. Pour 1998, le Comité estime que ces émissions étaient de 129 Mt de CO_2, ce qui est bien supérieur aux estimations de 98 Mt pour 1996. Environ la moitié de cette augmentation de 32 % en seulement deux ans est attribuable à l'augmentation de la production des centrales au charbon pour remplacer les réacteurs d'OPG mis sous cocon[3]. En outre, il y a eu des augmentations importantes de polluants qui contribuent aux pluies acides et au smog, soit le SO_2 et le NO_x, en raison de la mise sous cocon de réacteurs d'OPG.

Il est également important de reconnaître que les estimations du Comité relatives aux émissions de CO_2 provenant de la production d'électricité en 1998, soit de 129 Mt, sont déjà **supérieures de 10 %** par rapport aux émissions de CO_2 projetées, soit de 117 Mt, provenant de ce secteur en 2010, pour le scénario de «maintien du statu quo» donné à la référence [1].

2.3.2.2 Projections pour la réduction d'émissions de CO_2 par les centrales nucléaires CANDU d'ici 2030

Dans des études internes récentes, RNCan a évalué les effets de différents scénarios pour la production d'énergie d'origine nucléaire au Canada sur les émissions futures de CO_2 [3]. Ces scénarios ont été élaborés : un scénario de maintien du statu quo, un scénario moyen et un scénario élevé pour estimer les réductions d'émissions possibles au cours des trente prochaines années.

Le maintien du statu quo est semblable à la «perspective énergétique» de RNCan, examinée au chapitre 3 du rapport du Comité de l'an dernier, mais est fondé sur la référence [1]. Ce scénario suppose que la demande d'électricité augmentera d'environ 1 % par an, que les réacteurs de Pickering A, mais pas de Bruce A, sont remis en service, que les réacteurs existants ne sont pas remplacés à la fin de leur vie utile et qu'aucune autre centrale nucléaire n'est construite. Dans ce scénario, la capacité de production d'électricité d'origine nucléaire au Canada diminue et passe d'environ 16 000 MW en 2000 à environ 3 500 MW en 2030.

Dans le scénario moyen, on suppose que la demande d'électricité augmente d'environ 1,3 % par an, que les réacteurs de Pickering A et de Bruce A sont remis en service, que la vie utile des réacteurs existants est prolongée, que certaines centrales au charbon de l'Ontario sont remplacées par des centrales nucléaires et qu'une partie de la demande croissante est satisfaite par le nucléaire. Il en résulte que l'énergie nucléaire retrouve au Canada sa part de production de 1995 d'environ 18 %. Selon ce scénario, 10 nouveaux réacteurs NG CANDU 6 seront construits d'ici 2030.

Selon le scénario élevé, les hypothèses sont essentiellement les mêmes que celles du scénario moyen, à l'exception près que toutes les centrales au charbon de l'Ontario sont remplacées par des centrales nucléaires et que la demande croissante est entièrement satisfaite par l'énergie nucléaire. Dans ce scénario, 22 nouveaux réacteurs NG CANDU 6 seront nécessaires d'ici 2030.

---

[3] L'autre moitié était attribuable à la réduction de la production hydroélectrique en 1998 par rapport à 1997.

RNCan a également étudié la possibilité de réduire les émissions de CO_2 en exportant des réacteurs CANDU [3] et a conclu qu'EACL pourrait s'emparer d'une part importante du marché mondial de l'énergie nucléaire en développement au cours des 30 prochaines années, en vendant dix réacteurs CANDU au cours des trois prochaines décennies, pour un total de 30 réacteurs d'ici 2030. Comme on l'a vu dans le rapport du Comité de 1999, en vertu du Protocole de Kyoto, le Canada peut être capable d'obtenir des crédits de réduction de GES pour les exportations CANDU, à partager avec le pays client, bien que les détails n'aient pas été encore élaborés.

Les émissions de CO_2 totales évitées dans ces scénarios sont résumées au tableau 2.1. Même le scénario de maintien du statu quo résulte en une réduction cumulative de 3 400 Mt d'ici 2030, et les deux autres scénarios se traduisent par des réductions supérieures de 50 à 75 %. Le scénario d'exportation se traduirait par une réduction cumulative d'ici 2030, pratiquement la même que celle du scénario de maintien du statu quo.

Pour mettre en relief les réductions cumulatives du scénario de maintien du statu quo, le Comité a estimé, à partir de la référence [1], qu'une réduction cumulative d'environ 1 500 Mt d'émissions de GES équivalentes CO_2 serait nécessaire d'ici 2010 pour que le Canada respecte son engagement de Kyoto. ***Par conséquent, sans la contribution de l'énergie nucléaire à partir de maintenant jusqu'à 2010, la réduction cumulative totale prescrite pour atteindre l'objectif de Kyoto serait d'environ 2 260 Mt, soit supérieure de 50 % à la valeur estimée actuelle de la référence [1].***

TABLEAU 2.1

ÉMISSIONS CUMULATIVES DE CO_2 (Mt) ÉVITÉES PAR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE DANS DIVERS SCÉNARIOS

ANNÉE	MSQ*	MOYEN	ÉLEVÉ	EXPORTATIONS
2000-2010	760	865	865	~450
2000-2030	1 960	3 550	4 430	3 400
1962-2030	3 400	4 990	5 870	3 600

*maintien du statu quo

Le tableau 2.1 met l'accent sur le fait que, si l'énergie nucléaire joue un rôle primordial en aidant le Canada à tenir ses engagements de Kyoto d'ici 2010, elle pourrait prendre une part bien plus active en aidant à stabiliser les émissions de GES au Canada et ainsi à atténuer le changement climatique mondial, au-delà de 2010. De plus, comme on le voit ci-après à la section 2.3.3, les applications non classiques éventuelles des réacteurs CANDU comme la production d'hydrogène électrolytique pour le transport et la récupération des produits du pétrole des sables bitumineux pourraient à l'avenir permettre d'éviter considérablement les émissions de GES au Canada.

2.3.2.3 Mesures canadiennes en fonction des engagements de Kyoto

Comme on l'a vu dans le rapport du Comité de l'an dernier, une part essentielle des activités du Canada pour respecter ses engagements de Kyoto a été la production de rapports sur les options par les diverses tables de concertation, qui sont composées de représentants des intervenants

préoccupés par ces dossiers. Deux rapports sur les options sont particulièrement intéressants pour EACL : la Table de l'électricité [5] et la Table de la technologie [6]. L'industrie nucléaire était représentée à ces deux tables.

La Table de l'électricité n'a pas pu obtenir un consensus sur le rôle de l'énergie nucléaire dans la réduction des GES en raison de la polarisation des points de vue entre les défenseurs et les opposants. La Table fait deux recommandations relatives à l'énergie nucléaire :

- Les gouvernements doivent préciser s'il y a une place pour l'énergie nucléaire dans l'industrie future d'approvisionnement en électricité au Canada, en particulier en ce qui a trait au changement climatique.

- Dans l'affirmative, il est nécessaire que les gouvernements résolvent les questions réglementaires pour que l'énergie nucléaire continue à présenter une des solutions du secteur électrique au changement climatique.

En ce qui a trait à la première recommandation, le Comité est très préoccupé de ce que le gouvernement fédéral n'ait pas encore pris une position ferme sur la nécessité absolue de disposer d'une énergie nucléaire au Canada, étant donné que c'est le seul moyen éprouvé de production d'électricité à charge de base à grande échelle qui n'émet pas de GES. Même la production d'hydroélectricité, que l'on considère généralement comme ne rejetant pas de GES, en provoque malgré tout en raison de l'inondation de grandes régions de forêts et de tourbe qui dégagent du méthane et du CO_2 [7]. Le fait que la Table de l'électricité ne parvienne pas à prendre une position ferme dans ce sens est troublant.

Le Comité fait des commentaires au chapitre 6 du présent rapport sur les questions relatives à la deuxième recommandation. (Voir également le dernier paragraphe de la présente section sur la remise en service proposée des réacteurs de Pickering A.)

La Table de la technologie est bien plus positive envers l'énergie nucléaire. Elle propose que le financement public pour le nucléaire, actuellement de 100 millions $ par an soit augmenté d'au moins 30 millions $, en raison de la contribution potentielle de l'énergie nucléaire à la réduction des GES. Le financement de la recherche fondamentale visant à accroître la compétitivité de la technologie CANDU devrait être augmenté immédiatement de 10 millions $ par an et le financement immédiat de la R et D future sur la gestion des déchets devrait être de l'ordre de 5 millions $ par an. En outre, 15 millions $ par an devraient être fournis pour appuyer les démonstrations des applications du chauffage nucléaire dans l'industrie, dans certaines conditions. Le Comité a recommandé, au chapitre 4, partie 1 du présent rapport, qu'EACL continue de chercher à obtenir énergiquement ce financement supplémentaire recommandé.

Comme on l'a mentionné à la section 2.3.2.2, le Canada peut être capable d'obtenir des crédits pour les exportations de la technologie CANDU en vertu du Protocole de Kyoto. Pour ce faire, l'énergie nucléaire ne doit pas être exclue en ce qui a trait à l'échange d'émissions selon un mécanisme de développement propre ou par un plan de mise en œuvre conjoint en vertu du Protocole de Kyoto. Le Comité est conscient que certains pays (et des organismes internationaux comme l'OPEP) s'opposent à toute reconnaissance de l'énergie nucléaire à cette

fin et recommande au gouvernement canadien de s'assurer que l'énergie nucléaire n'est pas exclue.

Comme le mentionne le Comité dans son rapport de 1999, RNCan a entrepris le programme *Avenir des technologies énergétiques 2030* pour élaborer un ensemble de visions du système énergétique du Canada pour la période de 2030 à 2050 et pour recenser les options technologiques à long terme qui pourraient modifier fondamentalement la relation entre la croissance économique et les émissions de GES. Jusqu'ici, quatre scénarios qui entrevoient différents rôles pour l'énergie nucléaire ont été élaborés. Ce travail n'était pas encore terminé.

Le résultat de toutes ces activités servira d'assise à la Stratégie nationale de mise en œuvre afin de respecter ses engagements de Kyoto. Une déclaration de la Stratégie nationale de mise en œuvre (SNMO) doit être publiée d'ici la fin 2000. Le Comité est au courant qu'EACL, avec l'Association nucléaire canadienne, participe aux activités de la Table intégrative que met au point la SNMO pour exposer son point de vue sur le rôle vital de l'énergie nucléaire vis-à-vis du changement climatique. Le Comité appuie fortement cette participation.

On a proposé au Comité qu'EACL participe activement aux questions environnementales plutôt que d'y jouer un rôle d'observateur. Ceci consisterait à élaborer un programme de recherche axé sur l'environnement. Toutefois, le Comité reconnaît la difficulté d'intégrer un tel programme dans le mandat, la structure organisationnelle et le budget d'EACL. Le Comité recommande que si EACL envisageait un tel programme de recherche, elle devrait chercher à obtenir le financement du Fonds d'action pour le changement climatique ou de fonds semblables. La possibilité d'obtenir un tel financement a été proposée dans le rapport du Comité de 1999.

Pour refléter les préoccupations du Comité sur la façon dont le Canada respectera ses engagements de Kyoto, des membres du Comité se sont réunis avec des représentants de RNCan, du Bureau du Conseil privé et des ministères des Affaires étrangères et Commerce international, des Finances et d'Environnement Canada pour présenter une communication sur l'importance de l'énergie nucléaire dans la réduction des émissions de GES. (Les représentants du Comité ont également souligné la nécessité vitale pour l'avenir d'EACL de débloquer des fonds le plus tôt possible pour le Centre canadien de neutrons.)

Le Comité est également préoccupé de ce que l'effet sur l'environnement de ne pas remettre en service les réacteurs de Pickering A n'a pas été pris en compte dans l'évaluation environnementale de cette remise en marche. Cette méthode s'oppose directement au respect des engagements que le Canada a pris à Kyoto. Si ces réacteurs ne sont pas remis en service, des émissions continues de CO_2 proviendront des centrales au charbon ainsi que des émissions de SO_2 et de NO_x qui porteront sérieusement atteinte à la santé du public. Le 31 août 2000, la CCSN a publié un Rapport d'examen environnemental préalable contenant les conclusions du personnel de la CCSN sur l'évaluation environnementale par OPG de la remise en service de Pickering A. Le rapport préalable indique que la remise en service ne devrait pas provoquer d'effets néfastes pour l'environnement. Même s'il s'agit d'une étape positive, le Conseil de la CCSN doit néanmoins approuver la remise en service et il peut y avoir encore d'autres obstacles à surmonter.

2.3.3 Autres applications des réacteurs CANDU

2.3.3.1 Applications non électriques des réacteurs CANDU

Si l'énergie nucléaire doit représenter plus qu'une petite fraction de l'énergie totale du monde entier à l'avenir et contribuer par là même de façon plus que modeste à la réduction des émissions de GES, on devra continuer à rechercher des applications non électriques et électriques des réacteurs nucléaires. Le rapport du Comité de 1999 a examiné brièvement les applications suivantes : chauffage urbain, production de chaleur industrielle et chimique, dessalement de l'eau de mer et extraction des produits du pétrole des sables bitumineux.

EACL travaille avec l'entreprise Suncor sur une proposition relative à l'application d'un réacteur NG CANDU 6 pour la récupération du bitume des sables bitumineux de l'Alberta [8]. L'utilisation d'un réacteur CANDU à cette fin a été rendue possible grâce à l'élaboration du procédé d'évacuation par gravité au moyen de vapeur (EGMV) [9], dans lequel la vapeur entre 2 et 2,5 MPa (~210 à ~220 °C), correspondant à la plage d'un modèle CANDU classique, est injectée dans un long tuyau horizontal près de la base du réservoir de sables bitumineux. La vapeur chauffe le pétrole chaud qui s'écoule par gravité dans un tuyau horizontal inférieur où l'on récupère le mélange pétrole-vapeur. Le procédé EGMV a été démontré et permet de traiter 88 % des sables bitumineux inaccessibles avec la technologie à ciel ouvert classique et d'extraire, selon les estimations, 330 milliards de barils. Suncor prévoit utiliser la technologie EGMV pour un projet à grande échelle qui devrait se dérouler dans la période de 2006 à 2008, avec possibilité de prolongation.

EACL a proposé un réacteur NG CANDU 6 de cogénération qui produira à la fois la vapeur et l'électricité nécessaires pour le fonctionnement de la centrale ainsi que pour la production électrolytique, à partir d'eau, de l'hydrogène nécessaire pour valoriser le pétrole lourd extrait, avec l'oxygène et l'eau lourde comme sous-produits. L'étude conjointe indique que la proposition est faisable au point de vue technique. En se fondant sur la réduction de 30 % des dépenses d'investissement pour la conception du réacteur NG CANDU, comme on le verra au chapitre 4.1, le côté économique semble prometteur, même avec un taux de rendement élevé par rapport à une centrale à vapeur au gaz naturel dont le coût est de 4 $ (US)/GJ. La proposition d'EACL présente les avantages supplémentaires de réduire considérablement les émissions de GES qui sinon seraient produites[4], de réserver le gaz naturel pour d'autres objectifs plus économiques et de fournir de l'oxygène et de l'eau lourde comme sous-produits. Le Comité appuie fortement les efforts d'EACL dans ce secteur, efforts qui sont conformes à une recommandation de son rapport de 1999.

2.3.3.2 Hydrogène et énergie nucléaire

Dans son rapport de 1999, le Comité a étudié la possibilité réelle à long terme que les piles à combustible à hydrogène qui ne produisent pas de CO_2 remplacent le moteur à combustion interne dans le secteur du transport, le plus grand producteur de GES au Canada et dans de

[4] Comme on l'a noté à la section 2.3.2.1, les stocks de combustibles fossiles produisent environ 14 % des émissions de GES au Canada, de sorte que la réduction de l'approvisionnement en combustible fossile est tout aussi importante que dans le secteur de la production d'électricité, dont la part est de 16 %.

nombreux autres pays. Le Comité a cité la référence [10] en indiquant qu'il n'y aurait pas de réduction globale, sinon une augmentation, des émissions de GES si l'hydrogène était produit par le processus de reformage vapeur-méthane classique. Pour obtenir la réduction souhaitée, l'hydrogène devrait être produit par l'électrolyse de l'eau provenant d'une source d'électricité n'émettant pas de GES, et l'énergie nucléaire offre la seule source pratique à grande échelle. Comme on l'a vu à la section 2.3.3.1, l'hydrogène électrolytique produit par l'électricité provenant du réacteur CANDU peut être également utilisé pour valoriser le pétrole lourd des sables bitumineux de l'Alberta.

Il existe des possibilités intéressantes pour adapter les systèmes de transport du Canada actuellement à combustible fossile, à l'hydrogène électrolytique. Aux éléments essentiels pour une telle conversion qui existent au Canada, c'est-à-dire les réacteurs CANDU d'EACL, les électrolyseurs de *Stuart Energy Systems* et les piles à combustible de *Ballard Power Systems*, signalés dans le rapport du Comité de 1999, nous pouvons ajouter le stockage d'hydrogène dans des bouteilles légères à haute pression produites par une entreprise canadienne, Dynetek. Le Comité réitère son point de vue selon lequel le Canada jouit d'une excellente position pour exploiter les marchés mondiaux dans le secteur de l'hydrogène pour le transport en tirant profit du rôle de précurseur qu'il a joué dans ces technologies de pointe.

2.3.4 Points de vue internationaux sur l'énergie nucléaire et le changement climatique

Une étude de 1999 sur le changement climatique et l'énergie nucléaire menée par la *Royal Society* et la *Royal Academy of Engineering* [11] a conclu qu'il est vital que l'option nucléaire reste d'actualité au Royaume-Uni comme une mesure importante pour atténuer la menace d'un changement climatique radical et que les centrales nucléaires doivent faire partie de la planification d'électricité pour le Royaume-Uni.[5]. Le Comité a eu le plaisir de prendre une part active dans l'organisation de la visite au Canada de Brian George, un des auteurs du rapport, pour étudier ses conclusions et recommandations avec les représentants du gouvernement et de l'industrie et pour présenter la conférence W.B. Lewis 2000 sur le même sujet à l'université Carleton.

L'*Atlantic Council* des États-Unis, dans une étude d'envergure sur le rôle global de l'énergie nucléaire, a conclu que l'on doit reconnaître que les installations d'énergie nucléaire jouent un rôle important dans la réduction des émissions de GES [12].

Malgré l'opposition à l'énergie nucléaire dans un certain nombre de pays de l'Union européenne, spécialement en Suède et en Allemagne, un rapport récent publié par la Direction générale de l'énergie a conclu que l'énergie nucléaire est essentielle pour que l'Europe puisse respecter ses engagements de Kyoto [13]. Même en émettant les hypothèses d'un remplacement important du charbon par le gaz naturel, d'une gestion dynamique de la demande d'énergie et d'une augmentation des sources renouvelables d'énergie, le rapport prévoit que les émissions de CO_2 augmenteront d'environ 7 % d'ici 2010 par rapport à l'objectif européen du Protocole de Kyoto, une réduction de 8 % par rapport aux niveaux de 1990 d'ici 2010. Il prévoit également une augmentation de 14 % d'ici 2020. Pour respecter les engagements de Kyoto, deux possibilités

[5] Le Comité note qu'une proposition a été présentée à la Société royale du Canada et l'Académie canadienne du génie peut entreprendre une étude semblable sur le rôle de l'énergie nucléaire au Canada vis-à-vis du changement climatique.

sont proposées : soit une taxe élevée sur le carbone plus le remplacement des centrales nucléaires qui arrivent à la fin de leur vie utile par de nouvelles centrales nucléaires, soit la construction de nouvelles centrales nucléaires. Dans ce dernier cas, le pourcentage de production d'électricité d'origine nucléaire doit passer de 21 % aujourd'hui à 26 % d'ici 2020 et à 28 % d'ici 2030, ce qui sous-entend que la capacité nucléaire augmente de 132 GW maintenant à 181 GW d'ici 2020 et à 212 GW d'ici 2030.

À la fois le commissaire européen à l'énergie et le secrétaire général du Conseil mondial de l'énergie s'entendent pour dire que l'Europe n'a aucune chance de respecter ses engagements de Kyoto sans l'énergie nucléaire [14].

2.3.5 Conclusions et recommandations

L'énergie nucléaire doit jouer un rôle important dans les efforts que fait le Canada pour respecter ses engagements de Kyoto. Par conséquent, ***il est essentiel que les réacteurs d'OPG mis sous cocon à Pickering et Bruce soient remis en service dès que possible.*** Le Comité est préoccupé de ce que les effets environnementaux graves de ne pas remettre en service les réacteurs de Pickering A n'ont pas été pris en compte dans l'évaluation de leur remise en marche.

La construction de nouvelles centrales nucléaires avec la prolongation de la vie utile des centrales existantes et remises en service est essentielle pour contribuer à réduire au minimum les émissions de CO_2 au Canada, à long terme, comme l'indique l'étude interne de RNCan, référence [3]. Le Comité est préoccupé, comme l'indique une recommandation de la référence [5], de ce que le gouvernement fédéral n'ait pas diffusé une position ferme stipulant que l'énergie nucléaire est un élément important dans la réduction des émissions de GES.

Il est également très important que les crédits de réduction des GES pour les exportations de réacteurs nucléaires soient inclus dans les Mécanismes de développement propre du Protocole de Kyoto et dans les procédures du Plan d'action conjoint. Le Comité recommande à EACL de continuer à solliciter le gouvernement canadien pour s'assurer que l'énergie nucléaire fait partie des technologies acceptables pour la réduction des émissions de GES dans ces procédures.

Pour permettre aux réacteurs CANDU de participer davantage à la réduction future des émissions de GES, EACL devrait continuer à chercher des applications non classiques pour les réacteurs CANDU, comme dans l'étude conjointe avec Suncor sur l'utilisation polyvalente d'un réacteur NG CANDU pour l'extraction des produits de pétrole des sables bitumineux de l'Alberta. Le Comité continue à appuyer vivement les activités d'EACL dans ce secteur et il réitère une conclusion de son rapport de 1999 selon laquelle la synergie de l'énergie nucléaire et de l'hydrogène offre des occasions très intéressantes pour que le Canada puisse jouer un rôle de chef de file dans une révolution du transport mondial dans laquelle les véhicules à pile à combustible remplacent les véhicules à essence et au diesel. Cette révolution repose entièrement sur des technologies mises au point au Canada : les réacteurs CANDU, les électrolyseurs Stuart, les piles à combustible Ballard et les bouteilles de stockage Dynetek.

En se fondant sur les études susmentionnées, le Comité fait les recommandations suivantes :

Recommandation 1

Le Comité recommande qu'EACL, en collaboration avec l'industrie nucléaire canadienne, continue à participer activement à l'élaboration de la Stratégie nationale de mise en œuvre du Canada relativement à ses engagements de Kyoto et continue à exercer des pressions sur le gouvernement fédéral pour qu'il accepte et reconnaisse que l'énergie nucléaire doit occuper une place importante dans une stratégie à long terme visant à réduire au minimum les émissions de GES.

Recommandation 2

Le Comité recommande qu'EACL, en collaboration avec l'industrie nucléaire canadienne, continue à exercer des pressions sur le gouvernement fédéral pour faire en sorte que l'énergie nucléaire soit reconnue comme un moyen acceptable de réduction des GES dans les Mécanismes de développement propre et les procédures d'Action conjointe en vertu du Protocole de Kyoto.

Recommandation 3

Le Comité recommande qu'EACL accorde une haute priorité à la collaboration avec l'industrie pétrolière en continuant à explorer les applications des réacteurs CANDU dans l'extraction de produits du pétrole des sables bitumineux de l'Alberta et appuie, selon le cas, la R et D nécessaire pour réaliser de telles applications.

Recommandation 4

Le Comité recommande qu'EACL continue à évaluer les possibilités d'applications non électriques au Canada et à l'étranger des réacteurs CANDU et de la production électrolytique à grande échelle d'hydrogène et continue à choisir et appuyer la R et D nécessaire pour réaliser de telles applications.

Recommandation 5

Le Comité réitère une recommandation de son rapport de 1999 qu'EACL étudie les possibilités d'obtenir un financement pour la R et D des organismes qui se préoccupent d'environnement, relativement au rôle que peut jouer l'énergie nucléaire vis-à-vis des questions du changement climatique mondial.

BIBLIOGRAPHIE

1. *Perspectives des émissions du Canada : une mise à jour, Processus national sur le changement climatique*, Groupe de l'analyse et de modélisation, Ressources naturelles Canada, décembre 1999.

2. *Innovations technologiques visant à atténuer les émissions de gaz à effet de serre* Document de base de la Table de la technologie, Secrétariat sur le changement climatique, Ottawa, 30 octobre 1998.

3. Moore, B., *Personal, Communication to Panel*, juin 2000.

4. *L'énergie électrique au Canada*, Ressources naturelles Canada, 1999 et années antérieures.

5. Table de l'électricité. *Rapport sur les options*, 3 novembre 1999.

6. Table de la technologie, *Mise en valeur des innovations technologiques visant à atténuer les émissions de gaz à effet de serre, Version définitive*, 10 décembre 1999.

7. Rudd, J.W.M., R.E.Hecky, R.Harris et C.A.Kelly, *Are Hydroelectric Reservoirs Significant Sources of Greenhouse Gases?*, *Ambio* 22:4, p. 246, 1993.

8. Miller, A., *Presentation to Panel Sub-Committee*, 23 juin 2000.

9. Donnelly, J.K., *Alternate Fuels for Oil Sands Development*, Alberta Department of Energy, juin 1994.

10. Duffey, R.B., et coll., *Building Non-Carbon Bridges to the Future*, 9e Conférence annuelle canadienne sur l'hydrogène, février 1999.

11. *Nuclear Energy - The Future Climate*; The Royal Society and the Royal Academy of Engineering, juin 1999.

12. *An Appropriate Role for Nuclear Energy in Meeting Global Energy Needs; Policy Paper*, The Atlantic Council of the United States, février 1999.

13. *Report of European Commission Directorate General for Energy*, novembre 1999.

14. *The Atom's Place in Europe's Future*, *International Herald Tribune*, 15 juin 2000.

CHAPITRE 3 : EXAMEN DES CAPACITÉS DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

3.1 INTRODUCTION

En 1984, Ontario Hydro, Hydro-Québec (HQ), Énergie Nouveau-Brunswick (ENB) et EACL ont établi le Groupe des propriétaires de centrales CANDU (GPC). Une responsabilité essentielle du GPC était, et est toujours, l'organisation et l'administration d'un programme de R et D cofinancé, en reconnaissant que les producteurs d'électricité et EACL continuent à interagir directement, continuent à financer les programmes R et D internes ainsi que certaines expériences dans les réacteurs de recherche à l'étranger. La figure 3.1, tirée d'un schéma d'un rapport récent du GPC [1], indique l'importance des réductions de financement pour les programmes du GPC au cours des cinq dernières années.

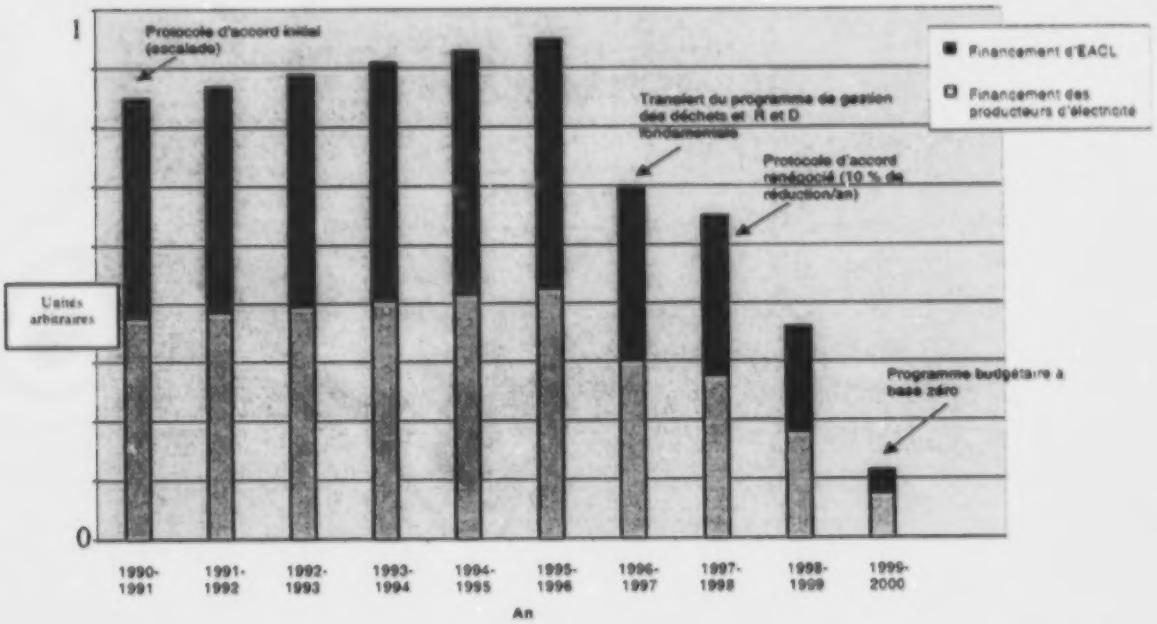


Figure 3.1 : Historique du financement de la R et D du GPC

Dans ses rapports annuels antérieurs, le Comité a abordé la question des réductions importantes du financement pour la recherche (fondamentale et appliquée) et développement des sciences et génie nucléaires au cours des cinq dernières années. La plupart de ces réductions sont entrées en vigueur parce que :

a) Le gouvernement fédéral a entrepris un examen de tous ses programmes. Une conséquence de cet examen pour EACL a été une réduction d'environ 50 % de la subvention fédérale

annuelle pour la R et D nucléaire. Cette réduction financière ainsi que les réductions en R et D effectuées par Ontario Hydro, (voir b) ci-après) ont forcé EACL à réduire considérablement ses programmes de R et D, ainsi que son appui à la R et D du GPC, et à entreprendre des réductions de ses coûts fixes pour les sites nucléaires autorisés en fermant les Laboratoires de Whiteshell.

b) Le gouvernement de l'Ontario a décidé de démanteler Ontario Hydro. *Ontario Power Generation* (OPG), la nouvelle société responsable des centrales nucléaires de l'Ontario, s'est concentrée sur le programme de rétablissement de ses centrales nucléaires, tout en passant simultanément à une économie de marché pour l'énergie électrique. Un résultat de l'examen des activités nucléaires d'Ontario Hydro-OPG a été une réduction importante du financement interne de R et D ainsi qu'en ce qui a trait aux programmes du GPC. Les conséquences de cette dernière réduction sont évidentes à la figure 3.1; Ontario Hydro-OPG fournissait la partie essentielle du financement du producteur d'électricité relativement aux programmes du GPC.

Toute la R et D en sciences et génie nucléaires a été sérieusement touchée par les réductions budgétaires susmentionnées et par les incertitudes suscitées par le retard du gouvernement fédéral à financer un nouveau réacteur de recherche (CCN) pour remplacer le réacteur NRU de Chalk River, ainsi que par la décision d'OPG de se départir d'*Ontario Power Technologies* (OPT) qui était sa source de R et D nucléaire interne.

Les départs à la retraite et les démissions du personnel ont érodé sérieusement les capacités essentielles de R et D d'EACL et d'OPT. En 1999, il y a eu des discussions et des échanges de correspondance sur la perte de capacité essentielle parmi les producteurs d'électricité (OPG, Hydro-Québec et Énergie Nouveau-Brunswick) et la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), auparavant la Commission de contrôle de l'énergie nucléaire (CCEA). En tant que responsable de la conception, les producteurs d'électricité doivent s'assurer que l'on dispose de l'infrastructure, des installations et du personnel expert adéquats pour garantir le fonctionnement sûr de leurs installations nucléaires. Une des réponses des producteurs d'électricité à la CCSN a été de demander au GPC d'entreprendre un examen de trois mois des capacités de recherche et développement du réacteur CANDU. Le groupe de projet pour cet examen était composé de personnel du GPC ainsi que d'un représentant de chacune des trois producteurs d'électricité, d'EACL et d'OPT.

3.2 EXAMEN DE LA CAPACITÉ DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT CANDU PAR LE GPC

Le rapport du GPC [1] sur la capacité de R et D CANDU était prêt en mars 2000 et a été présenté à la CCSN. Une recommandation générale du groupe de projet était que l'industrie doit prévoir, à court terme, une augmentation du financement des programmes de R et D pour faire en sorte que la capacité essentielle adéquate est préservée dans les secteurs clés. On doit entreprendre une évaluation détaillée pour déterminer les changements de financement nécessaires. On pourra ainsi continuer à répondre aux exigences réglementaires, et notamment aux questions de sûreté en cours et nouvelles. On pourra également établir une capacité de R et D d'envergure qui

permettra d'effectuer les travaux de R et D futurs portant sur la gestion du vieillissement et du cycle de vie des centrales et des aspects de la prolongation de la vie utile possible de la centrale.

Cette recommandation générale est tout à fait conforme à celles qui ont été faites par le Comité dans ses rapports annuels récents. Le résumé du rapport du GPC comprend cinq recommandations clés qui ont été également abordées, directement ou indirectement, dans les rapports antérieurs du Comité et que celui-ci appuie fortement. Les recommandations essentielles du rapport du GPC et les remarques du Comité sont les suivantes :

Afin de garantir une viabilité à plus long terme, l'industrie doit prendre des mesures pour s'assurer que le gouvernement fédéral continue à appuyer le laboratoire nucléaire national canadien. On pourra maintenir ainsi l'infrastructure nationale essentielle qui consiste à garder le personnel et préserver les installations associées aux capacités essentielles dans un certain nombre de secteurs et notamment les cellules chaudes, un réacteur de recherche pour effectuer les irradiations des matériaux et des combustibles et l'Installation de recherche biologique.

Dans ses rapports de 1996, 1997 et 1998, le Comité a insisté tout particulièrement sur le fait qu'un des rôles d'EACL avait été de conserver un laboratoire nucléaire national et qu'il était très important que le Canada ait un tel laboratoire. Entre-temps, des réductions budgétaires ont forcé EACL à se concentrer sur son rôle de fournisseur de réacteurs CANDU et de prestataire de services pour les producteurs d'électricité au pays et à l'étranger. Il en résulte que l'on ne peut plus prétendre que le Canada dispose d'un laboratoire nucléaire national équivalent à ceux des États-Unis et de France. Toutefois, cela n'annule pas pour autant le point de vue de l'équipe de projet du GPC selon lequel le Canada doit disposer d'installations nationales comprenant des cellules chaudes, un réacteur de recherche et l'installation de recherche biologique, construite à Chalk River en 1996, qui ont besoin d'un soutien qu'EACL seule ne peut pas assurer.

Le Comité est encouragé par les récents développements nationaux dans le secteur de la radioprotection et de la recherche biologique (voir chapitre 8). Une entente préliminaire a été signée pour le transfert de la responsabilité administrative du programme d'EACL en radiobiologie et radioprotection au Bureau de la radioprotection de Santé Canada. De l'avis du Comité, c'est une étape positive, mais ce n'est pas la solution. C'est simplement une plate-forme à partir de laquelle les parties intéressées doivent travailler pour atteindre la vision d'un Centre national des sciences radiologiques. Ce ne sont pas seulement EACL et Santé Canada qui assument la responsabilité de cette réalisation, mais également le GPC, la CCSN et les universités.

Le Comité est découragé par le retard du financement d'un nouveau réacteur de recherche et par l'effet qu'il risque d'avoir sur le maintien du personnel et le recrutement à EACL et dans les universités. Cette préoccupation est semblable à celle qui a été exprimée dans un rapport de janvier 2000 [2] sur la sûreté des réacteurs nucléaires et la recherche de dépôts en Allemagne, à la demande de son ministère fédéral de l'économie et de la technologie. Dans une section portant sur la promotion de jeunes talents en science et technologie, cette commission observe qu'en raison du vieillissement du personnel scientifique et technique actuel dans le domaine de la technologie nucléaire, et du fait que la nouvelle génération de scientifiques et d'ingénieurs n'est pas intéressée par ce domaine, on court le danger d'une perte irrévocable de compétences

scientifiques. Par conséquent, pour assurer le haut niveau de sûreté des installations nucléaires allemandes pour les années à venir, on doit conserver les compétences respectives tout au long de la période d'exploitation complète des centrales nucléaires allemandes et même au-delà, en prenant en compte le déclassement, le démantèlement et l'évacuation ainsi que les discussions internationales sur la sûreté.

Dans une remarque finale, la commission allemande met l'accent sur le rôle du gouvernement en abordant cette question : quelle que soit la décision politique sur l'élimination progressive de l'énergie nucléaire en Allemagne, ce pays doit conserver sa compétence dans le domaine de la sûreté nucléaire pendant les deux prochaines décennies. C'est une condition préalable inaliénable pour que le gouvernement remplisse ses obligations légales en ce qui a trait aux mesures de protection et aux mesures pour assurer la sûreté des installations nucléaires et des voies d'évacuation, conformément aux règles de l'art internationales en sciences et technologie.

Au Canada, le gouvernement fédéral, par l'intermédiaire de RNCan et de la CCSN, ne sera pas capable de remplir ses obligations légales si l'on ne maintient pas une capacité, une infrastructure et un personnel essentiels. La capacité essentielle a toujours été en grande partie les cellules chaudes, les réacteurs de recherche et les boucles d'essai. Une hypothèse importante implicite dans l'examen de capacité du GPC [1] est que le gouvernement fédéral continuera à assurer son appui à l'industrie nucléaire (comprenant l'organisme de réglementation) sous la forme d'un appui financier pour les installations nationales. Ce type de soutien gouvernemental est courant dans les pays ayant un programme d'énergie nucléaire ou dans les pays qui reconnaissent que les progrès dans la recherche sur les matériaux sont bien plus réalisables si les chercheurs universitaires et industriels ont facilement accès aux sources de neutrons d'un réacteur de recherche.

Le recrutement et la conservation de nouveau personnel par EACL, OPT (OPG) et la CCSN pour les travaux de R et D ou réglementaires sont précaires en raison d'une incertitude continue ou des décisions à court terme sur le financement de la part du gouvernement fédéral et d'OPG. Pour se faire l'écho de la Commission allemande, l'intérêt que les étudiants manifestent pour une carrière en génie ou sciences nucléaires a décliné. La solution partielle de raviver cet intérêt est prise en compte par une autre recommandation clé dans le rapport du GPC.

On doit examiner le programme de R et D nucléaire canadien pour s'assurer que le financement est fourni de façon ciblée et efficace en vue d'améliorer la collaboration entre les universités canadiennes et l'industrie. Un objectif essentiel de cette collaboration est d'augmenter les ressources offertes aux universités afin de maintenir ou d'augmenter leurs programmes de sciences et de génie nucléaires dans le but d'appuyer la mise en valeur des talents scientifiques et techniques canadiens pour l'industrie.

Ceci est également répété dans le rapport de la commission allemande, à la section relative à la promotion des jeunes talents en science et technologie qui conclut que ceci nécessite qu'un enseignement et une formation adéquats soient garantis à l'avenir. Ces moyens ont été réduits considérablement au cours des années écoulées, par exemple en détournant les chaires universitaires vers d'autres champs d'intérêt. Le réseau d'expérience existant entre les

établissements de recherche et les établissements financés par un projet (p. ex., les universités) a un effet stabilisateur à cet égard.

L'importance du financement par EACL et les producteurs d'électricité des chaires universitaires a été abordée dans le rapport annuel du Comité pour 1999. Le chapitre 9 du rapport de cette année fait une mise à jour sur ces chaires universitaires et étudie certaines options que l'industrie devrait prendre en compte pour améliorer la recherche et l'enseignement universitaires sur les sujets nucléaires.

En août 2000, le GPC a organisé une réunion de professeurs des universités canadiennes qui suivent un programme en sciences et génie nucléaires. Trois membres du Comité ont assisté à cette réunion. Les dispositions actuelles ont été examinées, et diverses options ont été étudiées pour maintenir les postes de spécialistes, en reconnaissant également que l'industrie nucléaire recrute largement à partir de programmes plus importants comme les sciences naturelles, le génie mécanique, chimique, électrique et informatique et que ses recrues devraient avoir accès aux modules d'enseignement sur les sciences et le génie nucléaires. Le chapitre 9 du rapport de cette année prend en compte cet atelier de façon plus détaillée.

Un résultat important de cet atelier est la proposition que le GPC établisse un cinquième comité technique en vue d'augmenter la participation des universités au programme de R et D du GPC. Actuellement, le GPC dispose de quatre comités techniques qui établissent les programmes de R et D dans les secteurs particuliers. Des professeurs d'universités participent à certains de ces programmes. Le cinquième comité proposé (programmes universitaires) bénéficierait d'un budget distinct pour maintenir ou améliorer la capacité de R et D dans les universités canadiennes et pour assurer la contribution des spécialistes en sciences et génie nucléaires, qui comprennent la conception unique en son genre de la filière CANDU.

(Voir le chapitre 9 qui donne plus d'explications et fait une recommandation sur le cinquième comité du GPC.)

Une troisième recommandation essentielle du rapport du GPC est la suivante :

Les organismes qui font de la R et D et les producteurs d'électricité doivent assurer une capacité de R et D minimale dans les secteurs cruciaux et faire en sorte que les stratégies soient définies et que les programmes soient ajoutés selon les besoins pour veiller à ce que les capacités demeurent disponibles à l'avenir.

Toutes les mesures particulières à prendre énumérées dans cette recommandation méritent d'être abordées ici et seront également mentionnées dans d'autres sections du présent rapport annuel. Il s'agit de :

Mesure du GPC n° 1

Des programmes supplémentaires sont nécessaires pour s'assurer que l'Installation de thermohydraulique RD-14M et les effectifs associés sont conservés jusqu'à la fermeture prévue

des Laboratoires de Whiteshell en 2004. Une décision sur les exigences à long terme relatives à une telle installation devra être prise dans les trois ans à venir.

Le Comité estime qu'une nouvelle installation sera nécessaire et devrait être conçue pour être implantée à Chalk River (voir chapitre 4, partie 1). Cette installation sera nécessaire pour assurer le soutien aux réacteurs existants et pour valider les parties des travaux analytiques sur le réacteur NG CANDU. Les travaux de conception devraient être entrepris dès le début 2001.

Mesure du GPC n° 2

Les producteurs d'électricité doivent assurer leur soutien proactif et participer directement à l'élaboration du dossier commercial pour la remise en état des installations des cellules chaudes aux LCR dans le contexte du rôle du laboratoire nucléaire national canadien.

Les cellules chaudes sont une infrastructure essentielle pour les producteurs d'électricité (responsables de la conception) en vue d'exploiter les réacteurs CANDU au Canada. De l'avis du Comité, les besoins des producteurs d'électricité constituent une partie importante du dossier commercial. Les examens de parties de composants clés, p. ex., tubes de force extraits dans le cadre de la stratégie d'inspection ou parce qu'ils sont défectueux, constituent une partie essentielle de la recherche sur le vieillissement des réacteurs. Les cellules chaudes sont également essentielles pour le déclassement et pour la recherche sur les nouveaux types de réacteurs.

Mesure du GPC n° 3

Des mesures immédiates doivent être prises pour que les Laboratoires Stern restent ouverts à court terme. Des mesures sont également nécessaires pour s'assurer que l'expérience cruciale continue à être disponible à* Ontario Power Technologies *(maintenant appelée Kinetrics). Ces mesures sont nécessaires pour permettre d'effectuer une étude plus approfondie sur la capacité globale de l'industrie et sur les besoins (à court et à long termes) en ce qui a trait à ces installations.

Les Laboratoires Stern disposent d'installations uniques en leur genre pour les travaux expérimentaux. Le Comité a fait une visite aux Laboratoires Stern en 1998 pour voir les bancs d'essais qui y sont utilisés depuis des années. Ces bancs d'essais sont utilisés principalement 1) pour déterminer ou confirmer les modes prédits de défaillance des canaux de combustible dans des conditions d'accident particulières, et 2) pour mettre à l'essai le flux thermique critique des grappes de combustible simulées à grande échelle dans l'eau. La plupart des analyses de ces expériences ont été effectuées par le personnel à Ontario Hydro ou EACL. La CCSN a également commandité certains travaux à ces laboratoires.

Le Comité est d'accord qu'une étude approfondie est nécessaire sur la capacité industrielle globale dans ce secteur. À long terme il peut être bon que de nouvelles installations fassent partie du laboratoire nucléaire national canadien, en raison de l'incertitude sur l'avenir des Laboratoires Stern et de la décision d'OPG de se départir d'OPT et d'établir ces installations comme une entreprise de services commerciaux d'ingénierie et des sciences.

Recommandation 1

Le Comité recommande qu'EACL entreprenne une étude approfondie avec le GPC sur les besoins à long terme d'installations de R et D du type de celles des Laboratoires Stern en vue d'établir ces installations au sein d'un laboratoire nucléaire national.

Mesure du GPC n° 4

En tant que bénéficiaires principaux de la capacité des sciences radiologiques (qui comprennent la radiobiologie, la radioprotection et la dosimétrie), les producteurs d'électricité doivent assurer un soutien actif (en coordonnant les programmes qui leur sont associés avec les programmes nationaux) pour faire en sorte qu'un centre national des sciences radiologiques est disponible.

Comme on l'a mentionné antérieurement, le Comité a prétendu pendant un certain temps que ces programmes seraient beaucoup plus efficaces s'ils étaient coordonnés et si des mesures étaient prises pour favoriser davantage la collaboration avec les universités (voir chapitre 9).

Mesure du GPC n° 5

Dans les zones déterminées où l'expérience fait défaut, un financement supplémentaire des programmes est nécessaire pour s'assurer que l'on peut augmenter les effectifs pour permettre le transfert des connaissances et le perfectionnement du personnel. Cela comprend les secteurs de chimie propres aux réacteurs CANDU (transport d'activité, décontamination, chimie sous rayonnement, chimie du réacteur), les matériaux (mécanique de la rupture), les composants (robinets, joints et instrumentation) et les canaux de combustible (fatigue, corrosion, déformation, fissuration différée).

Pour mettre en valeur les zones à risque, le rapport du GPC prend en compte cinq secteurs techniques : canaux de combustible; sûreté et autorisation; chimie, matériaux et composants; instrumentation et contrôle-commande; santé, sûreté et environnement. Trois échelles de temps sont envisagées : court terme (0-3 ans), moyen terme (3-10 ans) et long terme (10 ans et plus). Dans l'ensemble cet examen fait ressortir certaines préoccupations à court terme et de nombreuses préoccupations à moyen terme.

Tous les secteurs techniques sont vulnérables aux incertitudes de financement actuelles. Le problème ne sera pas résolu par des augmentations à court terme du financement de R et D par les producteurs d'électricité. Les dispositions initiales du GPC pour organiser et administrer conjointement les programmes de R et D cofinancés ont assuré une stabilité à moyen terme. Le Comité reconnaît que ces mesures n'étaient pas prêtes, mais il estime que les réductions du financement du GPC ont été bien trop sévères, et il est d'accord avec la conclusion du groupe d'examen du GPC que la capacité de R et D de l'industrie a, dans de nombreux cas, chuté à des niveaux seuils critiques et elle est vulnérable aux petites réductions de financement.

Le groupe d'examen du projet du GPC fait la recommandation générale suivante : l'industrie doit mettre en œuvre, à court terme, une augmentation du financement des programmes de R et D

pour s'assurer que la capacité essentielle adéquate est maintenue dans les secteurs clés. De l'avis du Comité, cette augmentation du financement doit être engagée pour plus d'un an à la fois pour pouvoir être efficace, en reconnaissant la nécessité d'un examen périodique pour assurer l'efficacité. En raison de la production de revenus et des dépenses d'investissement des centrales nucléaires des producteurs d'électricité par rapport au budget d'EACL, il est clair que les producteurs d'électricité et particulièrement OPG peuvent et doivent avoir une perspective à moyen terme quand elles prennent en compte les dépenses de R et D.

Recommandation 2

Le Comité recommande qu'EACL établisse un processus pour toute l'industrie avec le GPC et la CCSN relativement à la planification de la relève pour les ressources humaines des secteurs techniques clés.

3.3 ÉVALUATION PAR LA CCSN DU MILIEU DE R ET D CHANGEANT

Une communication récente [3] de la Direction de la réglementation des réacteurs de la CCSN examine comment la situation relative au financement de R et D a évolué au Canada au cours des cinq dernières années et explique comment la CCSN a réagi au milieu changeant. Une intervention importante a été la demande par le président de la CCSN que les titulaires de permis présentent leurs plans en vue d'une R et D à plus long terme et pour la conservation de l'infrastructure de R et D. Cette demande s'est traduite par l'examen de capacité de R et D du GPC [1] déjà examiné, rapport qui, de l'avis du Comité, constitue une première étape valable pour résoudre le problème.

La CCSN a demandé aux titulaires de permis comment ils avaient l'intention de répondre aux questions indiquées dans l'examen des capacités. Dans le document de la CCSN susmentionné [3] on reconnaît qu'il n'y a pas de solution facile aux questions indiquées (ci-dessus). Une des difficultés est que le problème est peut être trop vaste et complexe pour qu'un seul organisme puisse y répondre. Bien que cela soit vrai, le Comité appuie fortement le point de vue de la CCSN selon lequel la première étape doit permettre à tous les intervenants (titulaires de permis, gouvernement, organismes de R et D et organisme de réglementation) de reconnaître ouvertement que le problème existe et d'acquérir une compréhension commune de sa nature et de son ampleur. Ainsi, une entente doit être conclue sur les rôles et responsabilités de chaque intervenant, en particulier en ce qui a trait au financement et au maintien de l'infrastructure. Il sera difficile de parvenir à cette entente, mais en n'y parvenant pas rapidement, cela réduira encore l'aptitude d'EACL et des titulaires de permis à conserver la capacité essentielle dont ils ont besoin pour assurer le soutien aux centrales existantes au Canada ou à l'étranger et limitera également le rôle d'EACL en tant que fournisseur de réacteurs.

BIBLIOGRAPHIE

1. Groupe des propriétaires des centrales CANDU, *CANDU Research and Development Capability Review* (R1), Rapport GOG-00-204-I, mars 2000.

2. German Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), Working Group Report *Nuclear Reactor Safety and Repository Research in Germany*, 21 janvier 2000.

3. Newland D. B., *Research and Development Capability for Safety and Licensing of Nuclear Power Reactors in Canada*. Document CCSN. Senior Regulators Meeting, septembre 2000.

CHAPITRE 4 : RÉACTEURS CANDU AVANCÉS - PARTIE 1 : LE RÉACTEUR CANDU DE LA NOUVELLE GÉNÉRATION (NG CANDU)

4.1 INTRODUCTION

La conception des réacteurs CANDU actuels a été optimisée au point de vue de l'économie de neutrons de façon à tirer le maximum d'énergie possible du combustible à uranium naturel. Cette méthode traditionnelle s'est traduite par des coûts d'approvisionnement en combustible très faibles, mais par des dépenses d'investissement élevées. Actuellement, les dépenses d'investissement immédiates[6] d'un réacteur CANDU 6 sont d'environ 1 850 $/kW[7] [1]. Si des dépenses d'investissement élevées ont été acceptables pour les producteurs d'électricité dans les conditions de financement public, pour qu'EACL puisse continuer à être concurrentielle dans les conditions de financement privé croissantes aujourd'hui, les dépenses d'investissement immédiates d'un réacteur CANDU doivent être réduites d'environ un tiers, soit à environ 1 200 $/kW. Même quand le financement des services publics est encore prédominant, les dépenses d'investissement du réacteur doivent être encore réduites. Par exemple, la Chine a fixé un critère pour la construction de nouvelles centrales selon lequel les dépenses d'investissement doivent être concurrentielles par rapport à celles des centrales au charbon, soit environ 1 200 $/kW [1].

Si le modèle CANDU actuel est très concurrentiel par rapport aux autres types de réacteurs commerciaux, la centrale de choix aujourd'hui pour la production d'une nouvelle capacité par les producteurs d'électricité dans de nombreuses parties du monde est la turbine à gaz à cycle mixte (TGCM). La TGCM représente des dépenses d'investissement immédiates d'environ 500 à 600 $/kW et de courtes périodes de construction (de 2 à 3 ans), ces deux aspects se traduisant par un risque financier très faible. Malgré ses coûts d'approvisionnement en combustible bien inférieurs, le modèle CANDU actuel ne peut pas rivaliser pour l'instant avec la technologie TGCM dans des conditions de financement privé [1, 2].

Au cours de l'été 1999, EACL a entrepris une évaluation initiale des possibilités de réduction des dépenses d'investissement pour le modèle CANDU. Cette évaluation a fait ressortir des possibilités considérables pour de telles réductions sans nécessiter de nouveaux programmes de recherche et développement à long terme. Une étude conceptuelle et un programme de développement ont débuté en novembre 1999, et ils indiquent déjà que l'on pourrait obtenir une réduction des dépenses d'investissement d'au moins 30 % pour un modèle de réacteur CANDU de la nouvelle génération (NG CANDU) bien établi qui pourrait être prêt à être mis sur le marché d'ici 2005 [3].

Le présent chapitre décrit les paramètres clés du modèle NG CANDU, examine et évalue le programme de recherche et développement nécessaire et fait des recommandations sur ce programme.

---

[6] Les dépenses d'investissement immédiates comprennent toutes les dépenses d'investissement en dehors des intérêts au cours de la construction, qui dépendent considérablement de la période de construction et des retards dus aux questions réglementaires ou financières.

[7] Tous les coûts donnés dans ce chapitre sont en dollars US.

4.2 OBJECTIFS POUR LE MODÈLE NG CANDU

Le modèle NG CANDU doit conserver les caractéristiques essentielles du réacteur CANDU qui sont sous-jacentes à son succès jusqu'ici. Ces caractéristiques, exposées dans le rapport du Comité de 1996 sont les suivantes :

- modérateur à eau lourde distinct du caloporteur;
- canaux de combustible des tubes de force horizontaux;
- rechargement en marche en utilisant des grappes de combustible courtes.

La conservation du modérateur à eau lourde maintient une excellente économie de neutrons dans le réacteur NG CANDU, même si sa conception n'est pas optimisée pour ce paramètre. La conservation de ces caractéristiques clés permet d'obtenir une certaine souplesse dans la conception et l'application du réacteur NG CANDU; il n'est pas nécessaire d'adopter des méthodes révolutionnaires pour obtenir des progrès importants dans la technologie [3].

Le principal objectif du modèle NG CANDU est de réduire les dépenses d'investissement d'au moins 30 %. Grâce à cette réduction et aux améliorations supplémentaires apportées à la conception pour réduire les dépenses d'investissement, le coût unitaire moyen de l'énergie d'un réacteur NG CANDU serait concurrentiel par rapport à celui des modèles de TGCM de la nouvelle génération dans des conditions de financement privé pour une fourchette prévue de prix futurs du gaz naturel [1, 3].

D'autres objectifs pour le réacteur NG CANDU qui le rendront encore plus attrayant pour les clients sont les suivants [3] :

- souplesse du cycle du combustible;
- caractéristiques de sûreté passive améliorées;
- exploitabilité et entretien supérieurs.

Les objectifs à court terme sont de définir un modèle conceptuel pour le réacteur NG CANDU d'ici la fin 2000 et d'établir un plan pour lancer ce modèle sur le marché.

Un aspect important de la nature évolutive des modifications pour le réacteur NG CANDU est qu'un grand nombre d'entre elles peuvent être appliquées à de nouveaux projets pour que les types de réacteurs CANDU actuels présentent des performances améliorées et des coûts réduits.

4.3 LE MODÈLE NG CANDU

4.3.1 Méthode pour une conception optimisée

L'étape initiale dans la méthode mise au point pour atteindre l'objectif financier est d'optimiser le cœur du réacteur afin de s'assurer que l'on peut tirer la puissance maximale pour des tonnages de modérateur et de combustible et des débits de caloporteur donnés. La souplesse et la construction modulaire du réacteur CANDU facilitent cette étape initiale. À l'étape suivante, le circuit primaire et le turbo-alternateur sont optimisés en fonction de la puissance totale du cœur. Finalement, les

circuits de procédés, le confinement et les auxiliaires sont adaptés aux nouveaux modèles de cœur et des types de circuits primaires. En outre, des caractéristiques de sûreté passive supplémentaires ainsi que des caractéristiques d'exploitabilité améliorées ont été intégrées dans le réacteur NG CANDU.

4.3.2 Paramètres clés du réacteur NG CANDU

- Combustible et grappe de combustible

La caractéristique essentielle du réacteur NG CANDU est l'utilisation de combustible à uranium enrichi à 1,5 % à la place de l'uranium naturel utilisé dans les réacteurs CANDU classiques. Les avantages de l'utilisation de cet uranium légèrement enrichi (SEU), décrits par Torgerson et coll. [4] ont été également examinés dans plusieurs rapports du Comité antérieurs (1992-1996). Le combustible enrichi augmente la combustion massique d'environ trois fois par rapport à l'uranium naturel, augmentant en fait légèrement l'énergie produite par kilogramme d'uranium extrait et réduisant la quantité de déchets fortement radioactifs manipulés et réduisant également le facteur d'utilisation de la machine de manutention du combustible.

Les avantages de l'enrichissement du combustible sont possibles grâce à la mise au point par EACL de la grappe de combustible CANFLEX [3], comme on l'a vu dans les rapports du Comité de 1995 et de 1999. La grappe de combustible CANFLEX réduit la température du combustible et les rejets de gaz de fission pour la même puissance de grappe par rapport à la grappe standard à 37 éléments, qui permet d'obtenir la combustion massique élevée possible avec le combustible enrichi. De plus, les performances thermohydrauliques améliorées de la grappe CANFLEX augmentent la puissance critique de la grappe, permettant ainsi d'obtenir une puissance de grappe supérieure pour la même marge de puissance critique.

- Caloporteur

Le réacteur NG CANDU utilise de l'eau ordinaire plutôt que de l'eau lourde comme caloporteur. L'élimination du caloporteur à eau lourde entraîne une réduction importante des dépenses d'investissement, neutralisant le coût accru d'enrichissement du combustible, et présente l'avantage de simplifier le circuit primaire et les circuits de récupération des fuites et de reconcentration de l'eau lourde et d'en réduire les coûts. En outre, la diminution des fuites d'eau lourde réduit les doses de rayonnement éventuelles provenant du tritium aux opérateurs de la centrale.

- Canal de combustible

Le combustible enrichi permet d'utiliser un tube de force plus épais qui permettra de réduire la concentration d'hydrures, et il a le potentiel de réduire le fluage axial et diamétral. On peut ainsi garantir en toute confiance une vie utile de vingt ans pour le tube de force. Un système de remplacement rapide des tubes de force est également intégré dans la conception.

- Rendement du cycle thermodynamique

L'augmentation de l'épaisseur des tubes de force permet de supporter une pression et une température supérieures du caloporteur. La température supérieure du caloporteur permet un rendement supérieur du cycle thermodynamique, ce qui réduit les coûts en combustible ainsi que les dépenses d'investissement unitaires en augmentant la puissance électrique pour une puissance thermique du cœur donnée.

- Distribution radiale de puissance

La distribution radiale de puissance sur le réacteur est aplatie considérablement par la montée du flux des neutrons thermiques dans le réflecteur, ce qui augmente la puissance dans les canaux extérieurs et par le remplacement plus fréquent des grappes d'uranium légèrement enrichi dans les canaux extérieurs que dans les canaux intérieurs [3, 5], ce qui est devenu possible grâce au rechargement en marche. En aplatissant la distribution radiale de puissance du cœur cela signifie que l'on peut utiliser moins de canaux (environ 40 %), pour une puissance totale donnée dans le réacteur NG CANDU, que dans le réacteur CANDU 6. La réduction du nombre de canaux de combustible résulte également en une réduction importante du débit de caloporteur primaire total, ce qui permet de réduire les dimensions des pompes et de la tuyauterie principales de caloporteur et par là même leurs dépenses d'investissement.

- Réactivité cavitaire du caloporteur et conséquences pour la conception

Quand on utilise le caloporteur à eau ordinaire, il est nécessaire de réduire le pas de réseau (ou entraxe des canaux de combustible) de plus de 20 % pour réduire la réactivité cavitaire du caloporteur, de façon à éviter une excursion de puissance excessive lors d'un accident de perte de caloporteur. La réduction du pas de réseau entraîne une réduction importante de la réactivité cavitaire par rapport à celle d'un réacteur CANDU 6 classique. Ceci réduit l'excursion de puissance lors d'un accident important de perte de caloporteur d'environ 40 % et augmente la sûreté intrinsèque du modèle NG CANDU. La réduction du pas de réseau nécessite une modification des prolongements de canal et des raccordements des tubes de liaison ainsi que des dispositifs de réglage de la réactivité. De plus, les bouchons d'étanchéité des canaux de combustible ainsi que le nez de la machine de manutention du combustible devront être reconçus pour tenir compte de l'écartement plus faible des canaux ainsi que de la pression et de la température supérieures du circuit primaire. Heureusement, les activités conceptuelles du réacteur CANDU X ont débouché sur la conception d'un joint d'alésage amélioré, comme le décrit le Comité dans son rapport de 1999 et au chapitre 4, partie 2 du présent rapport. En outre, ce nouveau joint d'alésage permet d'utiliser des modèles de prolongement de canal et de nez de la machine de manutention du combustible qui tiennent compte de l'écartement plus étroit prescrit des canaux de combustible. Ces modifications réduiront les dépenses d'investissement de ces composants.

- Charge d'eau lourde

La réduction du nombre de canaux de combustible et du pas de réseau entraîne des réductions importantes du diamètre de la cuve et de la charge du modérateur. La réduction de la quantité d'eau lourde nécessaire pour le modérateur, plus le fait que l'on ne l'utilise plus comme caloporteur, font

que la charge d'eau lourde ne représente que moins d'un quart de celle du réacteur CANDU 6. L'eau lourde représentant une partie importante des dépenses d'investissement d'un réacteur CANDU comme on l'a vu dans les rapports du Comité de 1996, 1997 et 1999, la réduction de la charge d'eau lourde pour le réacteur NG CANDU se traduit par une réduction importante des dépenses d'investissement.

- Cuve et réservoir de blindage

La réduction du diamètre de la cuve réduit le diamètre du réservoir de blindage en conséquence. La réduction importante des dimensions du cœur et du réservoir de blindage, associée aux changements apportés aux prolongements de canal et aux tubes de liaison, permet d'envisager la possibilité de fabriquer le cœur en atelier, ainsi que la structure du réservoir de blindage, ce qui réduirait les dépenses d'investissement et les durées de construction.

- Conception de la machine de manutention du combustible

On propose actuellement de n'utiliser qu'une seule machine de manutention du combustible plutôt que deux comme c'est le cas dans les réacteurs CANDU actuels, ce qui réduirait ainsi les dépenses d'investissement. En outre, la machine de manutention du combustible sera reconçue pour obtenir un dispositif plus léger, plus simple, plus économique et plus facile à entretenir.

- Bâtiment de confinement

La réduction des dimensions du cœur du réacteur et du réservoir de blindage ainsi que des pompes et tuyauterie primaires, la simplification du circuit de récupération et de reconcentration de l'eau lourde ainsi que les réductions des dimensions et simplifications correspondantes des circuits auxiliaires permettent de réduire les dimensions ainsi que les dépenses d'investissement du bâtiment de confinement.

- Généralités

À ce jour, le résultat net de ce processus d'optimisation correspond à une réduction estimée des dépenses d'investissement totales pour le modèle NG CANDU d'environ 30 % de moins par rapport à celles du réacteur CANDU 6. Ce qui est également important, c'est que ce processus n'a pas décelé de problèmes de conception ou de mise au point éventuels qui empêcheraient le produit d'être commercialisable d'ici la deuxième moitié de cette décennie. Le processus est en cours et le programme de recherche et développement nécessaire pour atteindre ces objectifs est maintenant défini en détail et examiné à la section 4.4 de ce chapitre.

4.3.3 Sûreté passive améliorée pour le réacteur NG CANDU

Comme on l'a vu dans le rapport du Comité de 1995, le modèle de réacteur CANDU comporte certaines caractéristiques de sûreté passive qui lui permettent de satisfaire aux exigences de sûreté canadiennes et internationales. Le réacteur NG CANDU comprendra des caractéristiques de sûreté passive supplémentaires mises au point par EACL pour les réacteurs CANDU classiques et notamment : composants passifs dans le système d'injection d'urgence de caloporteur, extraction de

chaleur du modérateur par circulation naturelle, extraction de chaleur du confinement par circulation naturelle de l'atmosphère de confinement et de l'eau de refroidissement, recombineurs catalytiques à auto-activation pour extraire l'hydrogène du confinement dans des conditions d'accident et barrière de confinement double.

L'intégration de ces caractéristiques de sûreté passive réduira les dépenses d'investissement globales de ces systèmes de sûreté en raison de la simplification et de l'élimination des pompes, des soufflantes et de leurs moteurs et commandes.

La combinaison des caractéristiques de sûreté passive actuelles, comme la source froide du modérateur, les deux systèmes d'arrêt indépendants et les caractéristiques de sûreté passive supplémentaires font que le réacteur NG CANDU sera capable d'atteindre ou de dépasser les objectifs de sûreté des exigences européennes (EUR) pour les centrales nucléaires LWR. La première exigence de l'EUR est qu'il ne devrait pas y avoir de conséquences hors site au point de vue de l'évacuation ou de l'hébergement dans des conditions d'accident de référence. En atteignant les objectifs de l'EUR, on améliorera la commerciabilité internationale du réacteur NG CANDU.

4.3.4 Exploitabilité améliorée du réacteur NG CANDU

En se fondant sur une évaluation complète des composants, systèmes et structures cruciaux des réacteurs CANDU, EACL met au point, en vue de leur intégration dans le réacteur NG CANDU, des technologies de diagnostic avancées pour surveiller l'état des systèmes les plus importants de la centrale et pour prédire leurs conditions futures. Cela comprend une technologie qui surveille et affiche les données actuelles de la centrale et utilise des modèles de calcul ainsi que des bases de données antérieures pour prédire les conditions futures de la centrale et finalement pour donner un contrôle de rétroaction de certains paramètres. Une autre technologie assurera des capacités semblables pour les composants essentiels de la centrale. Les technologies futures évalueront les marges de puissance des canaux, permettant l'optimisation de la centrale au fur et à mesure qu'elle vieillit.

L'exploitabilité améliorée due à l'application de ces technologies permettra au réacteur NG CANDU d'atteindre les objectifs du facteur de capacité EUR supérieur à 87 % sur 40 ans. L'EUR prescrit également que l'on n'entreprenne aucune remise en état importante des centrales au cours de cette période. Le modèle NG CANDU qui autorise, s'il y a lieu, de remplacer rapidement les canaux de combustible après 20 ans, permettra de satisfaire à cette exigence.

4.4 EXIGENCES DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT POUR LE RÉACTEUR NG CANDU

Si l'on veut respecter l'échéance de 2005 pour la mise sur le marché du réacteur NG CANDU, il est évident que les programmes de recherche et développement nécessaires pour la commerciabilité doivent être à court terme. L'échéancier serré nécessite que la R et D soit entreprise parallèlement à la conception technique. Le réacteur NG CANDU reposera sur la R et D générique déjà en place qui appuie les réacteurs CANDU actuels. EACL a réorganisé les programmes actuels de R et D et a ajouté de nouveaux programmes pour appuyer le réacteur NG CANDU, une priorité étant accordée à la R et D nécessaire pour résoudre les questions de viabilité du concept.

Les nouvelles caractéristiques principales du modèle NG CANDU ont été décrites à la section 4.3. Les programmes de R et D nécessaires pour appuyer la conception et l'optimisation de ces caractéristiques sont indiqués dans les sections suivantes de ce chapitre.

4.4.1 Combustible et grappes de combustible

Les résultats de l'irradiation de 24 grappes CANFLEX d'uranium naturel à Pointe Lepreau et ceux d'autres essais, comme les essais du flux thermique critique de grappes CANFLEX d'uranium naturel simulées, démontrent que la grappe de combustible CANFLEX utilisant de l'uranium naturel est prête à être commercialisée. Il sera nécessaire de démontrer que d'ici 2005 les grappes de combustible CANFLEX utilisant de l'uranium légèrement enrichi se comportent de la même manière que les grappes CANFLEX à uranium naturel.

L'exigence principale est de démontrer les combustions massiques élevées prescrites avec le combustible SEU dans des grappes CANFLEX dans le réacteur NRU d'ici 2005. On estime que trois ans environ seront nécessaires pour ces irradiations. Le réacteur NRU devant demeurer en service jusqu'en 2005, on dispose de suffisamment de temps pour effectuer ces irradiations, à condition que les grappes d'essai soient prêtes d'ici environ un an. EACL commence à travailler immédiatement sur la conception, l'approvisionnement et la fabrication de ces grappes d'essai. Les grappes CANFLEX-SEU seront également nécessaires pour les essais de physique, et notamment pour les essais de demi-combustion dans le réacteur ZED-2 aux LCR. La grappe CANFLEX avec combustible simulé devra être soumise à des essais du flux thermique critique, de vibration et d'endurance dans les conditions du réacteur NG CANDU.

Les travaux devraient débuter dès que possible pour évaluer, modifier et valider les codes de calcul pour les études de thermohydraulique, de mécanique et de physique du réacteur ainsi que pour l'analyse de sûreté des grappes de combustible CANFLEX-SEU dans les conditions du réacteur NG CANDU. Ils porteront également sur les codes de physique du réacteur pour la conception du cœur et l'analyse de sûreté.

4.4.2 Canaux de combustible et composants associés

L'autre défi important de R et D est d'être en mesure de commercialiser d'ici 2005 un type de canal de combustible, comprenant les joints d'alésage, les prolongements de canal et les tubes de liaison, adaptés aux conditions du réacteur NG CANDU, la température et la pression étant supérieures et le pas de réseau plus restreint. Le programme de R et D des canaux de combustible le plus urgent est l'essai d'irradiation du tube de force plus épais à diverses fins dans le réacteur Osiris (France), le réacteur Halden (Norvège) et le réacteur NRU. EACL a entrepris la planification de ces essais. Le programme de R et D doit également démontrer qu'un remplacement rapide à grande échelle des tubes du réacteur au bout de 20 ans est possible, pour atteindre la cible du facteur de capacité EUR.

D'autres travaux de R et D urgents relatifs aux canaux de combustible sont nécessaires pour le joint tube de force-prolongement de canal, le prolongement de canal, la fermeture à joint d'alésage et le tube de cuve sans soudure plus épais et de diamètre supérieur.

D'autres travaux de R et D légèrement moins urgents associés aux canaux de combustible consistent à mettre à l'essai la fermeture de la machine de manutention du combustible, l'entretoise de l'espace annulaire, le joint dudgeonné tube de cuve-prolongement de canal, le raccordement du tube de liaison, les soufflets du prolongement de canal et autres composants.

4.4.3 Composants et systèmes

Le réacteur NG CANDU adopte un certain nombre de systèmes modifiés et de nouveaux composants qui doivent fonctionner à des pressions et températures supérieures et dans d'autres conditions plus rigoureuses que dans les modèles CANDU actuels. Les secteurs clés faisant appel à la R et D sont la machine de manutention du combustible, les mécanismes de réglage de la réactivité, le système de surveillance et de contrôle de la chimie du caloporteur et le choix des matériaux. La majeure partie de la R et D pour les composants et systèmes est associée étroitement à l'élaboration de la conception, avec les essais de confirmation des solutions conceptuelles. Pour cette raison, les programmes d'essai prendront de l'expansion au fur et à mesure que la conception est élaborée et que les nouveaux composants du réacteur NG CANDU sont mieux définis.

EACL a accordé une haute priorité aux travaux de mise au point et d'homologation de la machine de manutention du combustible améliorée et de ses composants associés clés. Le Comité est au courant que l'élaboration du nouveau concept de la machine de manutention est déjà en cours et les membres du Comité ont observé une démonstration de certains éléments du nouveau modèle. Le Comité appuie fortement les priorités accordées à ces travaux.

EACL travaille avec Hitachi pour établir la conception de la partie classique de la centrale. Les conditions du générateur de vapeur et de la turbine à gaz du réacteur NG CANDU étant proches de celles du réacteur à eau sous pression (REP), ces deux composants importants de la partie classique de la centrale sont bien adaptés aux conditions du réacteur NG CANDU.

4.4.4 Contrôle-commande et instrumentation

Comme dans le cas des systèmes et composants, on insiste sur le fait que le développement dans le domaine du contrôle-commande et instrumentation est étroitement intégré au processus de conception. La conception du contrôle-commande et instrumentation pour le réacteur NG CANDU bénéficiera des travaux génériques de soutien aux modèles récents CANDU 6 et CANDU 9, et en particulier de la mise au point des outils intégrés d'ingénierie, de conception, d'approvisionnement, de construction, de mise en service et de gestion de l'information assistés par ordinateur. L'utilisation de tels outils diminuera les coûts et raccourcira l'échéancier des réacteurs NG CANDU.

Les secteurs particuliers pour lesquels des travaux sont en cours comprennent la conception de la salle de commande avancée, la cartographie du flux de neutrons en temps réel et le contrôle de l'écoulement des canaux, les nouveaux détecteurs de rupture de gaine du combustible, la technologie améliorée des câbles et du filage, et les nouveaux moniteurs de santé des circuits en ligne pour évaluer le vieillissement des centrales et améliorer leur exploitabilité.

4.4.5 Technologie de la sûreté

Des travaux de R et D dans le secteur de la technologie de la sûreté sont nécessaires pour s'assurer que le réacteur NG CANDU peut atteindre les objectifs EUR relatifs à la sûreté des centrales nucléaires mentionnés à la section 4.3.3 et satisfaire aux exigences de la Commission canadienne de sûreté nucléaire. La mise au point de caractéristiques de sûreté passive sera nécessaire pour la conception du réacteur NG CANDU.

On doit étudier le comportement des canaux de combustible modifiés dans le cas d'un accident de perte de caloporteur associé à la défaillance du système de refroidissement d'urgence du cœur pour démontrer que le modérateur peut encore fonctionner en tant que source froide passive efficace, empêchant la fusion du combustible dans un tel accident. On devra effectuer des essais de rupture guillotine du nouveau tube de force pour démontrer l'efficacité du nouveau type de butée des prolongements de canal ainsi que les caractéristiques de défaillance du nouveau type de tube de cuve.

Un élément clé de la technologie de sûreté pour le réacteur NG CANDU, un ensemble de codes de calcul validés nécessaires pour l'analyse de sûreté et l'autorisation, est traité au chapitre 7 du présent rapport. On décrit également au chapitre 7 la méthode planifiée pour l'analyse de sûreté du réacteur NG CANDU, une méthode du type meilleure estimation associée à l'analyse d'incertitude probabiliste.

4.4.6 Émissions et gestion des déchets

Quelques secteurs associés aux émissions et à la gestion des déchets nécessiteront des travaux de développement pour le réacteur NG CANDU. Les secteurs moins prioritaires comprennent un modèle de dispersion atmosphérique validé pour les émissions radiologiques, une méthode pour traiter les doses radiologiques au biote, une méthode pour éliminer les résines usées de la centrale et les technologies de traitement améliorées pour réduire au minimum les rejets d'eaux usées et de produits chimiques de la centrale.

4.4.7 Installations de R et D principales pour le réacteur NG CANDU

On peut utiliser un certain nombre d'installations existantes pour la R et D relative au réacteur NG CANDU, bien que certaines nécessitent au moins quelques modifications pour se conformer aux conditions du réacteur NG CANDU. La disponibilité de certaines installations est incertaine à longue échéance : le réacteur NRU, les installations des Laboratoires Stern et cinq installations aux Laboratoires de Whiteshell. La disponibilité d'une installation de thermohydraulique RD-14M à Whiteshell est particulièrement préoccupante. Cette installation, que l'on doit utiliser pour valider le programme CATHENA pour les conditions du réacteur NG CANDU, nécessitera également d'importantes modifications pour assurer ces conditions et elle ne sera probablement pas prête après 2004.

On doit également apporter des modifications importantes à l'Installation d'essai du modérateur aux LCR en raison des réductions importantes du diamètre de la cuve et de l'écartement des canaux de

combustible et des modifications apportées aux dispositifs de contrôle et au système de refroidissement passif du modérateur. Le début des travaux est prévu pour l'an prochain.

Le Comité a appris que trois des installations actuelles aux Laboratoires de Whiteshell doivent être transférées aux LCR. Le Comité estime que l'on doit transférer le plus tôt possible deux de ces installations, la petite installation d'éclatement et l'installation à haute température des canaux de combustible, pour s'assurer que le calendrier de R et D des tubes de force est maintenu. Le transfert de la troisième installation, l'installation de démontage du cœur n'est pas aussi urgent.

Le Comité a noté que quatre nouvelles installations seront nécessaires comme on le décrit ci-après.

a) Une installation d'essai des matériaux à grande échelle est nécessaire aux LCR pour étudier le comportement des nouveaux matériaux que l'on doit utiliser dans le circuit primaire, dans les conditions de température et de pression du réacteur NG CANDU, et avec surveillance et contrôle sensibles de la chimie de l'eau. Voir la section 4.4.3 ci-dessus.

b) Une installation en vraie grandeur pour les essais mécaniques et les essais de vibration, de chute, d'endurance et éventuellement les essais sismiques des nouveaux mécanismes de réglage, nécessaires en raison du faible écartement des canaux de combustible.

c) Une installation aux LCR pour mettre au point et mettre à l'essai le circuit d'eau d'urgence passif (CEUP) pour l'évacuation de la chaleur du confinement à la suite d'un accident de perte de caloporteur.

d) Une installation pour étudier la circulation naturelle des mélanges air-vapeur dans le confinement à la suite d'un accident de perte de caloporteur pour permettre de valider le programme informatique GOTHIC dans les conditions d'accident du réacteur NG CANDU.

Dans certains cas, les installations pour certaines exigences de R et D n'ont pas été déterminées. Le Comité suppose que ces cas resteront à examiner au fur et à mesure que la conception du réacteur NG CANDU sera mise au point et une fois que le programme de R et D sera engagé.

4.5 LE RÉACTEUR NG CANDU TYPE DE RÉACTEUR DE LA 4^{e} GÉNÉRATION

L'expression «réacteur de la 4^{e} génération» s'applique aux types de réacteur novateurs futurs. Les réacteurs de la 4^{e} génération doivent être très concurrentiels tant au point de vue des dépenses d'investissement que des frais d'exploitation par rapport aux autres systèmes de production d'électricité, en particulier les turbines à gaz à cycle mixte. Pour ce faire, leur sûreté doit être améliorée, leur production de déchets doit être réduite, ils doivent être anti-proliférants et être mis en service dans les 20 prochaines années.

Le réacteur NG CANDU est reconnu comme un réacteur de la 4^{e} génération et c'est pour cette raison que le Canada participe aux activités internationales de la 4^{e} génération. Un atelier international de la 4^{e} génération s'est tenu en janvier 2000, avec des représentants gouvernementaux des pays suivants : Afrique du Sud, Argentine, Brésil, Canada, Corée, États-Unis, France, Japon et Royaume-Uni. L'atelier a établi un groupe technique pour discuter de la technologie des réacteurs

de la 4e génération et faire des recommandations sur la coopération multilatérale éventuelle. Vers la fin 2000, une réunion des gouvernements intéressés permettra d'étudier les recommandations du groupe technique.

Le Comité appuie fortement la participation d'EACL aux activités des réacteurs de la 4e génération, par le biais du réacteur NG CANDU, et appuie la position d'EACL sur la nature de la coopération internationale dans ces activités, c.-à-d. que la collaboration se poursuive sur les questions génériques plutôt que sur les modèles spécifiques et par l'intermédiaire de l'Agence de l'énergie nucléaire ou autres organismes internationaux. Cette collaboration internationale est conforme aux recommandations faites dans les rapports du Comité antérieurs relatifs à la collaboration sur la technologie de l'eau surcritique pour le réacteur CANDU X avec des chercheurs japonais et russes dans ce secteur.

4.6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le Comité a examiné l'évolution et l'optimisation du réacteur NG CANDU et a conclu qu'il était fort probable que la réduction visée d'environ 30 % dans les dépenses d'investissement du réacteur CANDU par rapport à celles du modèle CANDU 6 pourra être atteinte avec ce modèle et qu'il ne semble pas qu'il y ait des barrières infranchissables pour atteindre cet objectif. Le Comité a également conclu que, en disposant des ressources financières et humaines adéquates, il devrait être possible que le réacteur NG CANDU soit prêt à être commercialisé d'ici la deuxième moitié de cette décennie.

Le réacteur NG CANDU reposera sur la R et D générique déjà existante pour appuyer les modèles CANDU actuels, mais il est évident que les programmes de R et D actuels doivent être révisés et que de nouveaux programmes doivent être entrepris pour s'assurer que les objectifs ambitieux du réacteur NG CANDU peuvent être atteints. Le Comité est encouragé à constater que certaines de ces activités sont bien en cours. En considérant que le concept du réacteur NG CANDU a été proposé, il n'y a qu'environ un an, l'état d'avancement du projet a été remarquable. Le Comité a conclu que le programme de R et D pour le réacteur NG CANDU a été bien planifié et que la priorité a bien été accordée à la R et D nécessaire pour résoudre les questions de faisabilité du concept.

Comme on l'a déjà noté, le succès du programme NG CANDU dépend des ressources financières et humaines disponibles. Le Comité reconnaît qu'EACL est bien consciente de ce fait et est en voie de réaffecter les ressources existantes à cette fin. Le Comité estime que des ressources supplémentaires considérables seront essentielles pour s'assurer que les objectifs du réacteur NG CANDU peuvent être atteints. Le Comité remarque que la Table de la technologie, une des tables de concertation mises sur pied dans le cadre du respect des engagements pris par le Canada à Kyoto sur les émissions de gaz à effet de serre, comme on l'a vu au chapitre 2 du présent rapport, a recommandé dans son rapport final que le financement pour l'énergie nucléaire soit augmenté de 30 millions $ par an en raison de sa contribution à la réduction des émissions de GES [6]. Sur cette somme, le rapport recommande que 10 millions $ soient appliqués annuellement à la R et D sur la technologie CANDU.

Recommandation 1

Le Comité recommande qu'EACL cherche activement à obtenir le financement de R et D supplémentaire pour la technologie CANDU recommandée par la Table de la technologie pour le programme de R et D du réacteur NG CANDU.

De l'avis du Comité, l'élément essentiel pour obtenir un modèle NG CANDU commercialisable d'ici 2005 est la disponibilité opportune des installations d'essai principales nécessaires pour le programme de R et D comme on l'a vu à la section 4.4.7. Trois des installations nécessitent des modifications importantes, trois doivent être transférées des Laboratoires de Whiteshell aux LCR, quatre présentent un problème de disponibilité à plus long terme, deux se trouvent dans des pays étrangers et quatre n'existent pas encore et restent à concevoir et à construire.

Recommandation 2

Le Comité recommande vivement à EACL d'accorder la plus grande priorité dans le projet NG CANDU aux activités conçues pour s'assurer que les installations d'essai principales sont disponibles selon les besoins si l'on veut atteindre les objectifs du programme de R et D du réacteur NG CANDU.

Une des préoccupations principales sur la disponibilité des installations d'essai clés est l'arrêt possible du réacteur NRU avant 2005. Une fois que le deuxième réacteur RIMM sera prêt à produire des radio-isotopes, le coût d'exploitation intégral du réacteur NRU devra être à la charge d'EACL. En outre, la CCSN peut être moins disposée à permettre l'exploitation continue du réacteur NRU quand il ne sera plus nécessaire pour la production de radio-isotopes.

Recommandation 3

Le Comité recommande qu'EACL commence à étudier les possibilités d'essai des grappes de combustible CANFLEX-SEU et d'évaluation des modèles à tubes de force du réacteur NG CANDU dans d'autres réacteurs de recherche, dans le cas où le réacteur NRU serait arrêté prématurément.

Le Comité estime qu'EACL doit avant tout déterminer s'il est plus efficace de concevoir et de construire une nouvelle installation thermohydraulique pour la recherche sur la sûreté aux Laboratoires de Chalk River, plutôt que de mettre à niveau l'installation RD-14M, qui ne sera probablement plus disponible au-delà de 2004. La question vitale est de savoir si la validation nécessaire de CATHENA pour les conditions du réacteur NG CANDU peut être effectuée dans la nouvelle installation et permettre encore au réacteur NG CANDU d'être commercialisable en 2005. Dans les deux cas, l'échéancier est serré et le défi est grand.

Recommandation 4

Le Comité recommande vivement qu'EACL évalue dès que possible l'option de concevoir et de construire une boucle thermohydraulique aux LCR pour la validation de CATHENA dans les conditions du réacteur NG CANDU, plutôt que d'apporter des modifications importantes à la boucle RD-14M aux Laboratoires de Whiteshell à cette fin.

Un élément clé pour que le réacteur NG CANDU soit prêt pour le marché en 2005 consiste à obtenir une déclaration d'admissibilité du réacteur NG CANDU au Canada auprès de la Commission canadienne de sûreté nucléaire. Pour pouvoir offrir le réacteur CANDU 9 sur le marché international, on a obtenu une telle déclaration de l'ancienne Commission de contrôle de l'énergie atomique après un examen intensif de deux ans d'un processus d'autorisation préalable. En considérant que le réacteur NG CANDU s'écarte en certains points de la pratique suivie pour les réacteurs CANDU antérieurs, que la conception évoluera au cours des toutes prochaines années et que beaucoup de travaux de R et D seront nécessaires, il est très vraisemblable que le processus qui débouchera sur la publication d'une déclaration d'admissibilité prendra plus de deux ans.

Recommandation 5

Le Comité recommande qu'EACL commence dès que possible à établir avec la CCSN un processus d'autorisation «préalable» ayant pour objectif d'obtenir une déclaration d'admissibilité du réacteur NG CANDU de la CCSN d'ici 2005.

Le Comité est conscient qu'une étape importante à franchir pour que les grappes de combustible CANFLEX-UN soient acceptées dans les réacteurs CANDU actuels est l'irradiation de 24 grappes de combustible CANFLEX dans le réacteur de Pointe Lepreau et l'inspection après irradiation qui s'ensuit. Pour démontrer que le réacteur NG CANDU est prêt à être commercialisé, il peut être nécessaire qu'EACL prévoie l'irradiation de grappes CANFLEX-SEU dans un réacteur de puissance. Une telle irradiation serait bien plus difficile que dans le cas des grappes CANFLEX-UN en raison de la présence de combustible enrichi dans un canal du cœur du réacteur CANDU chargé d'uranium naturel.

Recommandation 6

Le Comité recommande qu'EACL étudie la nécessité d'irradier des grappes CANFLEX-SEU dans un réacteur de puissance, tout comme les grappes CANFLEX-UN à Pointe Lepreau, pour démontrer que le réacteur NG CANDU est prêt à être mis sur le marché. Si cela s'avérait nécessaire, EACL devrait commencer à planifier une telle irradiation dès que possible.

Le Comité a noté, comme il est fait mention à la section 4.4.7, que les installations pour certaines des exigences de R et D du réacteur NG CANDU n'ont pas été choisies. Le Comité suppose que ces cas resteront à examiner au fur et à mesure que le modèle NG CANDU est mis au point et une fois que le programme de R et D est engagé.

Recommandation 7

Le Comité recommande qu'EACL continue à examiner les besoins au point de vue des installations d'essai au moment où le modèle du réacteur NG CANDU est mis au point et que le programme de R et D est entrepris et qu'elle prenne des mesures rapides pour fournir les installations choisies selon les besoins.

BIBLIOGRAPHIE

1. Hancox, W.T., *The International Market for Nuclear Energy: An AECL Perspective, Conference on Future of Nuclear Energy in Canada*, université Carleton, Ottawa, 30 septembre 1999.

2. Torgerson, D.F., *Reducing the Cost of the CANDU System*, Compte rendu du Symposium sur le changement climatique de la Société nucléaire canadienne, 19 novembre 1999.

3. Torgerson, D.F., *Next Generation CANDU Technology*, Compte-rendu de la Conférence annuelle de la Société nucléaire canadienne, 12-14 juin 2000.

4. Torgerson, D.F., P.G.Boczar et A.R.Dastur; *CANDU Fuel Cycle Flexibility*, Conférence nucléaire du Bassin du Pacifique, mai 1996.

5. Dastur, A.R., and P.S.W.Chan; *The Role of Enriched Uranium in CANDU Power Plant Optimization*, IAEA Technical Committee on Advances in Heavy Water Reactors, juin 1993.

6. *Mise en valeur des innovations technologiques visant à atténuer les émissions de gaz à effet de serre, Version définitive*, Table de la technologie, 10 décembre 1999.

CHAPITRE 4 : RÉACTEURS CANDU AVANCÉS - PARTIE 2 : LE CONCEPT CANDU X

4.7 INTRODUCTION

Le concept CANDU X est la vision à long terme d'EACL d'un réacteur révolutionnaire conçu pour présenter des réductions de 50 % au point de vue des dépenses d'investissement et des coûts d'exploitation par rapport aux réacteurs CANDU actuels, tout en conservant les caractéristiques essentielles du réacteur CANDU.

Le Comité a examiné l'élaboration du concept CANDU X dans ces rapports de 1996, 1997 et 1999. Comme on l'a expliqué dans ces rapports, l'objet du concept est de défier les ingénieurs et scientifiques d'EACL d'axer leurs efforts de R et D à long terme pour appuyer l'élaboration du concept qui permettra d'atteindre les objectifs de coûts ambitieux. Si le réacteur CANDU X peut ne jamais être construit comme tel, les retombées de la R et D de soutien devraient bénéficier à l'évolution du réacteur CANDU, comme cela a déjà été le cas avec le nouveau type de joint d'alésage de fermeture des canaux.

En plus des retombées techniques particulières, le Comité estime que l'avance importante représentée par le programme CANDU de la nouvelle génération (NG CANDU) comme on le décrit au chapitre 4, partie 1, est un résultat direct de la libre pensée encouragée par la stratégie CANDU X d'EACL. Cette stratégie a permis de préserver la crédibilité internationale d'EACL en tant que concepteur avant-gardiste de réacteurs, le modèle NG CANDU étant reconnu comme un réacteur de la 4^{e} génération, comme on l'a vu au chapitre 4, partie 1.

Les progrès récents dans le concept CANDU X sont résumés à la référence bibliographique [7] par S.J. Bushby et coll. d'EACL. Le Comité note avec plaisir que ces auteurs ont reçu le prix de la meilleure communication présentée à la 8^{e} conférence internationale sur le génie nucléaire à Baltimore dans le Maryland en avril 2000 et les félicite. Ce prix dénote bien la reconnaissance internationale de l'importance du programme CANDU X d'EACL.

4.8 MODÈLES CONCEPTUELS CANDU X

Comme on l'a vu dans les rapports du Comité de 1997 et de 1999, le caloporteur du réacteur CANDU X est de l'eau surcritique, à une pression de sortie nominale de 25 MPa, par rapport à 10 MPa dans les modèles CANDU actuels et à 13 MPa dans le modèle NG CANDU. Dans les derniers concepts, les températures de sortie du cœur se situent entre 400 et 625 °C par rapport à 310 °C dans les réacteurs CANDU actuels et 330 °C dans le modèle NG CANDU.

Quatre modèles conceptuels préliminaires CANDU X sont décrits dans la référence bibliographique [7] et un modèle CANDU X supplémentaire a été décrit au Comité, le réacteur CANDU X à cycle direct (CANDU X CD). Certains paramètres clés de ces modèles sont donnés au tableau 4.1, où ils sont comparés à ceux d'un réacteur CANDU 6 actuel. EACL travaille avec les sociétés Hitachi (turbines à très haute pression (THP)) et *Babcock & Wilcox* (générateurs de vapeur à haute pression) dans la mise au point de ces modèles.

TABLEAU 4.1

COMPARAISON DES MODÈLES CONCEPTUELS CANDU X PRÉLIMINAIRES

PARAMÈTRE	CANDU 6	CANDU X MK 1	CANDU X CN	CANDUal-X1	CANDUal-X2	CANDU X CD
$T_{ent.}$	266	380	350	312	353	330
$T_{sort.}$	310	430	400	450	625	430
Rend.	35	41	40	40,6	45	n.d.
$P_{can.}$	5.4	6	4	7,8	8,5	n.d.
$M_{can.}$	20.3	6,7	4,2	5	4,4	n.d.
Combustible	UN	UN	SEU	SEU	SEU	SEU

$T_{ent.}$: Température d'entrée du réacteur, en °C
$T_{sort.}$: Température de sortie du réacteur, en °C
Rend. : Rendement brut du cycle, en %
$P_{can.}$: Puissance moyenne par canal, en MWt
$M_{can.}$: Débit moyen par canal, en kg/s
UN : Uranium naturel
SEU : Uranium légèrement enrichi (1,5 %)
n.d. : Non disponible

Les concepts CANDU X peuvent être adaptés, avec certaines restrictions, aux applications présentant des exigences de puissance très différentes, tout en maintenant des dépenses d'investissement unitaires faibles. On peut y parvenir en raison de la nature modulaire du réacteur CANDU X, en faisant varier non seulement le nombre de canaux de combustible, mais également la puissance de canal moyenne. Comme on l'indique dans le document [7], la sortie de puissance électrique des modèles conceptuels va d'environ 370 à 1 150 MW.

Les plus hautes températures de sortie du réacteur dans le cas des modèles conceptuels, par rapport à celles d'un réacteur CANDU classique, se traduisent par des rendements du cycle supérieurs indiqués au tableau 4.1, fournissant une puissance électrique supérieure pour une puissance thermique du réacteur donnée, ce qui réduit ainsi les dépenses d'investissement unitaires. Les concepts bénéficient également de la chaleur spécifique élevée de l'eau surcritique près de la température pseudo-critique[8] pour réduire considérablement le débit des canaux et ainsi les chutes de pression, par rapport à ceux d'un réacteur CANDU 6, comme on le voit au tableau 4.1. Il en résulte une réduction importante de la puissance de pompage primaire par rapport à celle d'un réacteur CANDU 6 et ainsi une plus grande puissance de sortie nette, ce qui réduit encore les dépenses d'investissement unitaires.

[8] La température pseudo-critique à une pression surcritique donnée est la température à laquelle la chaleur spécifique atteint un maximum et les taux de changement des autres propriétés avec la température atteignent des maximums. Pour une pression de 25 MPa, la température pseudo-critique est de 285 °C.

4.8.1 CANDU X Mark 1

Le modèle CANDU X Mark 1 est très semblable au modèle Mark 1 décrit dans le rapport du Comité de 1997 ainsi que dans le document [8]. Il s'agit d'un cycle indirect avec un générateur de vapeur à haute pression qui produit de la vapeur pour une turbine à très haute pression avec une pression et une température d'entrée respectivement de 19 MPa et de 400 °C, s'échappant dans une turbine classique qui fonctionne dans les conditions des réacteurs à eau ordinaire types. Les changements conceptuels essentiels pour le réacteur CANDU X Mark 1 sont l'utilisation d'uranium naturel au lieu d'uranium légèrement enrichi (SEU) et l'utilisation d'un caloporteur à eau lourde plutôt qu'à eau ordinaire[9] (voir le chapitre 4, partie 1 pour l'étude de ces questions).

Les coefficients de transfert de chaleur élevés associés au caloporteur à eau surcritique se traduisent par de basses températures de la gaine de combustible, de sorte que l'on peut toujours utiliser le zircaloy pour les gaines de combustible du CANDU X Mark 1, malgré les températures supérieures du caloporteur par rapport à celles du réacteur CANDU 6.

4.8.2 CONCEPT CANDU X CN

Le modèle CANDU X CN à cycle indirect, étudié dans le rapport du Comité de 1999, ainsi que dans la référence bibliographique [7], utilise la circulation naturelle du caloporteur dans le circuit primaire plutôt qu'un écoulement pompé. Ainsi on n'a plus besoin d'utiliser des pompes primaires, ce qui réduit les dépenses d'investissement et les coûts d'exploitation et augmente la sûreté passive, du fait qu'un accident de perte d'écoulement résultant d'une défaillance d'une pompe ou d'un moteur est exclu.

La circulation naturelle du caloporteur est faisable en raison de la chaleur spécifique élevée et de la grande variation de densité, la température de l'eau surcritique se situant aux environs du point pseudo-critique. Les hauts coefficients de transfert de chaleur aux environs de la température pseudo-critique signifient que l'on peut maintenir la gaine de combustible à une basse température, malgré le faible débit du caloporteur. Ainsi on peut toujours utiliser le zircaloy pour les gaines de combustible.

La force motrice nécessaire pour l'écoulement à circulation naturelle est fournie de la meilleure façon par un générateur de vapeur placé bien au-dessus du cœur du réacteur. Les générateurs de vapeur horizontaux, qui peuvent permettre de réduire les dimensions du confinement ainsi que les coûts, sont utilisés dans les réacteurs VVER russes et sont envisagés dans un type de réacteur japonais.

Les études thermohydrauliques pour le réacteur CANDU X CN indiquent la nécessité de limiter la température de sortie du cœur à environ 400 °C et la puissance de canal moyenne à environ 4 MW, comme on l'indique au tableau 4.1, en raison de la force motrice limitée disponible avec l'écoulement à circulation naturelle et la nécessité d'éviter l'instabilité de l'écoulement[10]. En

---

[9] Il est à noter que le modèle Mark 1 indiqué au tableau 4.1 suppose l'utilisation de combustible à uranium naturel (et donc un caloporteur à eau lourde) comme peuvent le préférer certains clients.

[10] La possibilité de l'instabilité de l'écoulement avec caloporteur à eau surcritique a été signalée par le Comité dans son rapport de 1997 et a été

raison de la puissance de canal moyenne faible dans le cas du réacteur CANDU X CN, ce modèle convient le mieux aux applications dans lesquelles les exigences de puissance de la centrale sont relativement faibles, p. ex., une sortie de 370 MW pour le cas de la référence bibliographique [7].

4.8.3 CONCEPTS CANDUal X1 et CANDUal X2

Ces deux concepts à cycle double comprennent l'expansion directe du caloporteur à eau surcritique à la sortie du réacteur dans une turbine THP associée aux cycles de puissance indirects ou aux applications de cogénération comme on l'a vu dans le rapport du Comité de 1997. Les rendements du cycle indiqués au tableau 4.1 sont fondés sur l'utilisation de cycles de puissance indirects.

Dans ces concepts, la turbine THP doit être placée à l'intérieur de l'enceinte de confinement, sa sortie vers le côté primaire des générateurs de vapeur qui se trouvent également dans l'enceinte. Les avantages de ces modèles sont que le caloporteur radioactif demeure entièrement dans l'enceinte, que l'utilisation de générateurs de vapeur fonctionnant à une très haute pression côté virole est évitée et que l'on a recours à la technologie éprouvée de la turbine THP des centrales à combustible fossile et à caloporteur à eau surcritique. Le modèle CANDUal X2 permet des applications de cogénération à température supérieure comme la gazéification du charbon.

Le modèle CANDUal X1 permet d'utiliser des gaines de combustible en zircaloy tandis que le modèle CANDUal X2 nécessitera des gaines de combustible en nickel ou en céramique. Dans le but de réduire la pression des gaz de fission, il peut être nécessaire d'utiliser le combustible à oxyde de thorium pour limiter la température du combustible.

4.8.4 CONCEPT CANDU X CD

Dans le concept CANDU X CD, on utilise un cycle direct complet, l'échappement de la turbine THP alimentant une turbine à haute pression d'un réacteur à eau bouillante (REB) classique, l'expansion se faisant dans les turbines à basse pression des REB classiques. Dans ce cas, la turbine THP se trouve à l'extérieur du confinement. Ce concept permet d'éliminer les générateurs de vapeur ainsi que les séparateurs de vapeur et sécheurs en avant de la turbine THP et éventuellement la séparation de vapeur dans le processus de détente de la turbine. Ceci se traduit par un modèle très simple, qui peut représenter des dépenses d'investissement inférieures par rapport aux autres concepts CANDU X. Le cycle est semblable à celui d'un REP à eau surcritique proposé au Japon.

4.8.5 Avantages des modèles CANDU refroidis par eau surcritique par rapport aux modèles REP refroidis également par eau surcritique

Un réacteur refroidi par eau surcritique présente certains avantages intrinsèques par rapport à un réacteur à eau sous pression (REP) refroidi par eau surcritique comme celui proposé au Japon et en Russie :

---

démontrée de façon analytique par Chatoorgoon [3].

- Les très hautes pressions et températures avec le caloporteur à eau surcritique sont plus facilement prises en charge dans les tubes de force des réacteurs CANDU à faible diamètre, principalement parce que le composant sous pression est à très basse température dans le modèle à canaux de combustible CANTHERM [7, 8].

- Dans le modèle CANDU X à écoulement bidirectionnel, il n'y a pas de variation globale de densité du caloporteur et du modérateur sur toute la longueur du cœur, à la différence des REP à eau surcritique dans lesquels la variation importante de densité du caloporteur ou du modérateur sur toute la longueur du cœur se traduit par une grande variation de réactivité, entraînant des problèmes de contrôle-commande du réacteur.

- Le rechargement en marche d'un réacteur CANDU X produit des oscillations bien plus faibles de la densité du caloporteur, et donc une réactivité bien plus faible avec combustion massique que dans le cas du rechargement par lots dans un REP à eau surcritique.

4.9 R ET D SUR LES TECHNOLOGIES HABILITANTES POUR LE RÉACTEUR CANDU X

Les exigences et installations de recherche et développement pour le concept CANDU X ont été étudiées dans les rapports du Comité de 1997 et de 1999 et des renseignements supplémentaires sont donnés dans les références [7, 8]. Plutôt que d'entreprendre un examen des exigences de R et D globales pour le réacteur CANDU X, que l'on peut trouver dans les ouvrages de référence mentionnés, cette section passe en revue le programme de R et D du réacteur CANDU X pour l'exercice financier 2000-2001.

4.9.1 Devis préliminaire du réacteur

Le produit final de cette activité est un ensemble de modèles conceptuels que l'on doit élaborer à partir des modèles préliminaires donnés au tableau 4.1. Le programme pour 2000-2001 consiste à poursuivre l'évolution de ces concepts, en collaboration avec Hitachi et *Babcock & Wilcox*, à étudier la possibilité de réductions de coût dues à la relaxation de la contrainte de l'économie de neutrons comme dans le modèle NG CANDU et à poursuivre les interactions avec les organismes internationaux.

4.9.2 Plan conceptuel de la centrale et modèle de coût

L'objectif final de cette tâche est d'établir un plan conceptuel de la centrale, avec dimensions des composants et un modèle de coût pour chaque concept CANDU X. Le programme pour 2000-2001 consiste à élaborer des modèles complets des concepts et à effectuer les analyses d'exergie[11] et d'économie pour optimiser les options du cycle.

---

[11] L'exergie d'un fluide est une propriété de mesure de l'énergie théorique maximale que l'on peut obtenir en amenant le fluide à l'équilibre avec son milieu. Son utilisation reconnaît les limites des processus résultant du Second principe de thermodynamique et permet de repérer de façon bien plus précise les inefficacités du cycle thermodynamique que ne le permet une analyse classique. Le concept a été utilisé auparavant dans les analyses des cycles de réacteurs CANDU [4].

4.9.3 Concept du canal de combustible à isolation interne

Le canal de combustible à isolation interne, CANTHERM, est un composant clé des concepts CANDU X, comme on l'a vu dans le rapport du Comité de 1997 et dans les références bibliographiques [7, 8]. L'objectif de la R et D dans ce secteur est de produire un modèle CANTHERM approprié pour la plage de températures des divers concepts CANDU X. Les exigences importantes de conception, en plus de l'efficacité de l'isolation et des caractéristiques adéquates de résistance mécanique et de fluage, portent sur la réduction minimale de l'absorption des neutrons et de la capacité de transférer la chaleur du cœur au modérateur dans les conditions d'accident.

La mise au point du canal de combustible CANTHERM peut présenter un avantage important pour les réacteurs CANDU classiques ainsi que pour le modèle NG CANDU, avec sa vie utile possible de 60 ans. Pour cette raison, le Comité estime que le travail sur le canal CANTHERM devrait occuper une très haute priorité dans le programme CANDU X.

Comme on le décrit dans les références mentionnées, une installation d'essai a été conçue et construite aux LCR. Elle a produit certaines données préliminaires sur la conductivité efficace des matériaux d'isolation éventuels.

Le programme CANTHERM pour 2000-2001 consiste à effectuer des essais dans l'installation CANTHERM dans les conditions du réacteur CANDU classique et du réacteur NG CANDU, ainsi que dans les conditions du réacteur CANDU X, en utilisant un matériau ZrO_2 réticulé (poreux) et monolithique (non poreux). Il consiste également à évaluer le comportement neutronique du transfert de chaleur dans des conditions d'accident.

4.9.4 Cycles du combustible et grappes de combustible

Les objectifs de ce secteur d'activités sont de mettre au point une grappe de combustible pour les conditions du réacteur CANDU X Mark 1, avec possibilité de rechargement d'un seul côté, le côté d'entrée, et de définir les options de la grappe de combustible pour les autres concepts CANDU X, soit le combustible à uranium naturel et à uranium enrichi. Cette tâche comprend également la définition des enveloppes de fonctionnement acceptables et l'historique d'exploitation.

Les activités particulières pour 2000-2001 sont l'étude continue des options de l'uranium légèrement enrichi et de l'uranium faiblement enrichi, la conception du combustible au thorium et des pastilles pour réduire les températures, la réalisation des expériences de la première phase sur la corrosion de la gaine dans les conditions de l'eau surcritique, l'évaluation de la tenue mécanique des alliages de zirconium dans le cadre des stratégies de renouvellement du combustible proposées et l'étude des matériaux de gaine dans les conditions du réacteur CANDUal X2.

4.9.5 Thermohydraulique, physique du réacteur et chimie

Les objectifs des travaux dans ces secteurs sont d'établir des corrélations de transfert de chaleur pour les conditions de l'eau surcritique, d'établir des critères de modélisation fluide-fluide pour interpréter des résultats de l'installation de CO_2 à pression surcritique, d'élaborer un code couplé thermohydraulique-neutronique, de créer des enveloppes de puissance de canal pour l'écoulement pompé et à circulation naturelle et d'établir des spécifications sur les matériaux et la chimie de l'eau pour le circuit primaire et le circuit d'eau d'alimentation.

Le programme dans ces secteurs pour 2000-2001 consiste à mesurer les coefficients de transfert de chaleur, les coefficients de frottement et l'instabilité de l'écoulement dans la petite boucle d'eau surcritique et l'installation de CO_2 surcritique, à établir les critères de modélisation fluide-fluide pour cette dernière installation, à poursuivre les études d'instabilité de l'écoulement dans le cas de la circulation naturelle et de l'écoulement pompé, à établir les spécifications de la chimie de l'eau pour les cycles indirects et directs, à évaluer les matériaux éventuels des tubes de liaison, des générateurs de vapeur et des circuits d'eau d'alimentation. Le programme comprend également les essais de corrosion des matériaux dans les conditions du réacteur CANDU X à eau surcritique.

4.10 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le Comité continue à appuyer fortement le programme CANDU X. Comme il le mentionne à la section 4.7, le Comité est convaincu que les progrès importants au point de vue créativité qui ont entraîné la mise au point du modèle prometteur NG CANDU sont un résultat direct du programme CANDU X. Le nouveau joint d'alésage, issu des prescriptions du réacteur CANDU X, est un composant clé qui contribue à la faisabilité du réacteur NG CANDU. Ce modèle a débouché à son tour sur un concept amélioré de machine de manutention du combustible applicable au réacteur NG CANDU, comme on l'a vu au chapitre 4, partie 1.

Le Comité encourage EACL à continuer à entretenir des relations avec les organismes internationaux relativement au concept CANDU X. Cette collaboration répond aux recommandations faites dans les rapports du Comité antérieurs relativement à la collaboration avec les chercheurs japonais et russes sur la technologie de l'eau surcritique.

Le Comité est en général d'accord avec les objectifs du programme de R et D d'EACL sur le concept CANDU X et avec les programmes de 2000-2001 dans les divers secteurs de la technologie habilitante pour le réacteur CANDU X, comme il le précise à la section 4.9. S'il fait certaines recommandations particulières (voir ci-après), le Comité fait remarquer qu'un grand nombre de ces recommandations antérieures relatives à la R et D sur le concept CANDU X, faites dans ses rapports de 1997 et de 1999, sont encore d'actualité.

Comme on l'a vu à la section 4.9.3, le type de canal de combustible CANTHERM pourrait présenter des avantages importants pour les modèles CANDU classiques ainsi que pour le modèle NG CANDU, avec sa vie utile de 60 ans.

Recommandation 8

En reconnaissant que le concept du canal de combustible CANTHERM pourrait permettre d'utiliser des canaux de combustible ayant une vie utile de 60 ans pour les réacteurs CANDU classiques et le modèle NG CANDU, le Comité, conformément à sa recommandation antérieure relative aux priorités de recherche sur le réacteur CANDU X, recommande que l'on accorde la plus haute priorité à la R et D consacrée au canal de combustible CANTHERM dans le cadre du programme de R et D du réacteur CANDU X.

Comme on l'a vu à la section 4.9.5, un des objectifs de la R et D dans les secteurs de la thermohydraulique et de la physique du réacteur est d'élaborer un code de calcul couplé thermohydraulique-neutronique. En raison des conditions du caloporteur bien différentes de celles du réacteur CANDU classique, la possibilité d'oscillations de l'écoulement avec rétroaction au comportement neutronique, et la sensibilité du comportement neutronique aux faibles pas de réseau nécessaires avec le combustible enrichi (voir chapitre 4, partie 1), un code couplé thermohydraulique-neutronique est nécessaire pour les conditions de l'eau surcritique et du réacteur CANDU X. Du fait qu'il est également probable qu'un tel code couplé sera nécessaire pour le modèle NG CANDU, on devrait examiner la coordination de l'élaboration de ces codes couplés.

Recommandation 9

Le Comité recommande qu'EACL se consacre en priorité à l'élaboration d'un code de calcul couplé thermohydraulique-neutronique pour les conditions du modèle CANDU X et que l'on envisage de coordonner ce travail avec l'élaboration d'un code couplé thermohydraulique-neutronique pour les conditions du réacteur NG CANDU.

Comme on l'a indiqué à la section 4.9.5, un objectif dans le secteur de la R et D en thermohydraulique consiste à établir des corrélations transfert de chaleur-facteur de frottement pour les conditions d'eau surcritique du réacteur CANDU X. Les hauts coefficients de transfert de chaleur obtenus avec le caloporteur à eau surcritique sont généralement attribués à la variation importante des valeurs de propriété sur la couche limite. Dans le cas d'un générateur de vapeur dans lequel l'eau surcritique est refroidie, la température de la couche limite est inférieure à celle de la masse du fluide qui est opposée à la situation dans le réacteur. Ceci peut avoir un effet important sur les coefficients de transfert de chaleur. À partir de l'analogie bien établie entre les coefficients de transfert et les facteurs de frottement, il peut y avoir un effet semblable sur les facteurs de frottement dans les générateurs de vapeur.

Recommandation 10

Le Comité recommande que l'on établisse des corrélations transfert de chaleur-facteur de frottement pour l'eau surcritique dans le cas des générateurs de vapeur et d'autres échangeurs de chaleur dans lesquels l'eau surcritique est refroidie.

Les concepts CANDU X peuvent faire face à certaines questions de sûreté uniques en leur genre, qui peuvent permettre d'obtenir des solutions ou une méthode relatives aux questions de sûreté dans les réacteurs CANDU classiques et le réacteur NG CANDU, comme le Comité l'a signalé antérieurement relativement au code de calcul sur la stabilité de l'écoulement de l'eau surcritique.

Recommandation 11

Le Comité recommande qu'EACL continue à évaluer les questions de sûreté relatives aux concepts CANDU X pour trouver des solutions ou une méthode possibles qui peuvent être appliquées aux modèles CANDU classiques et au modèle NG CANDU.

BIBLIOGRAPHIE

7. Bushby, S.J., G.R. Dimmick, R.B. Duffey, K.A. Burrill et P.S. W Chan; *Conceptual Designs for Advanced, High-Temperature CANDU Reactors*, Compte rendu de la 8e Conférence internationale sur le génie nucléaire, 2-6 avril 2000, Baltimore, Maryland, *American Society of Mechanical Engineers*.

8. Bushby, S.J., G.R. Dimmick, R.B. Duffey, N. Spinks et D.J. Wren; *Conceptual Design for a Supercritical-Water-Cooled CANDU*, Proc. Global 99, paper 172, *American Nuclear Society*, 1999.

9. Chatoorgoon, V., *Stability of Supercritical Fluid Flow in a Single-Channel Natural-Circulation Loop*, Rapport d'EACL FFC-FCT-243, juillet 1999.

10. Rogers, J.T., *Optimization of Thermal Energy Supply from Combined-Purpose CANDU Nuclear Reactors*, communication au 2e Congrès mondial de génie chimique, Montréal, octobre 1981.

CHAPITRE 5 : GESTION DE LA VIE UTILE DE LA CENTRALE

5.1 INTRODUCTION

Le Comité a abordé pour la première fois le sujet du vieillissement des réacteurs CANDU dans son rapport de 1997, en présentant un historique du programme nucléaire canadien et en décrivant les circonstances qui ont entraîné la décision d'Ontario Hydro (son nom à l'époque) de mettre sous cocon les centrales Pickering A et Bruce A en vue d'effectuer une remise en état d'envergure. Depuis lors, les questions de Gestion de la vie utile de la centrale (GVUC) ont occupé une place importante dans les activités des producteurs d'électricité utilisant des réacteurs CANDU.

Ceci reflète une tendance mondiale, les exploitants de réacteurs s'efforçant de produire de l'électricité à un coût minimum, spécialement vis-à-vis de la concurrence d'autres sources d'énergie et avec une tendance à la dérégulation et à la privatisation du marché. L'optimisation du rendement du capital investi implique l'assurance, et même la prolongation de la vie utile, des centrales actuelles. La récente réautorisation de plusieurs réacteurs aux États-Unis par la *Nuclear Regulatory Commission* pour des périodes prolongées reflète un processus de réglementation amélioré fondé sur les indicateurs de performance et l'analyse des risques, mais atteste aussi le succès que les mesures de GVUC peuvent avoir. D'un autre côté, si l'on ne met pas en œuvre des programmes de GVUC efficaces dès la remise en marche du réacteur, cela peut entraîner une fermeture prématurée en raison des coûts élevés de la remise en état.

En 2000, EACL est plus préoccupée par les questions de GVUC qu'elle ne l'était en 1997. Un grand nombre de son personnel participe directement à l'exercice de remise en service de Pickering A (PARS), des progrès ont été enregistrés sur l'évaluation de la GVUC pour les réacteurs CANDU 6 principalement par le biais d'une étude à Pointe Lepreau, et la remise en état de Pointe Lepreau a atteint la phase de planification effectuée par un groupe conjoint Énergie NB-EACL.

Dans le présent rapport nous résumons les activités relatives aux réacteurs CANDU 6 qui pour l'instant portent principalement sur les programmes d'EACL à Pointe Lepreau. En fait, une majeure partie des éléments du rapport provient des discussions avec le personnel d'Énergie NB.

5.2 GESTION DE LA VIE UTILE DES CENTRALES POUR LES RÉACTEURS CANDU 6

Après qu'une étude exploratoire initiale sur les éléments d'un programme de GVUC à appliquer aux réacteurs CANDU 6 a été entreprise conjointement par EACL, Hydro-Québec et Énergie NB en 1995, cette dernière a choisi en 1998 de poursuivre avec EACL un programme complet pour le réacteur de Pointe Lepreau. Hydro-Québec a annoncé récemment un programme semblable; la *Korea Electric Power Corporation* s'attend à entreprendre un programme avec EACL en 2000, et *Nucleoeléctrica Argentina S.A.* manifeste un certain intérêt. En Ontario, OPG réalise son propre programme.

Les trois éléments principaux du programme à Pointe Lepreau consistent à :

- évaluer les systèmes, structures et composants (SSC) clés, et notamment leurs conditions actuelles ainsi que l'assurance que tout mécanisme de dégradation est bien compris et neutralisé, prendre en compte les questions de sûreté et d'environnement et estimer les coûts de remplacement ou de réparation;

- examiner les méthodes de surveillance, d'inspection et d'entretien pour s'assurer que les ressources sont utilisées de façon optimale; et

- se tenir au courant de l'évolution dans l'industrie au Canada et à l'étranger (veille technologique) pour prévoir dès que possible les questions nouvelles et d'actualité.

Le soutien de la R et D aux réacteurs CANDU actuels donne des informations pour les trois éléments, avec des activités comme la compréhension et l'atténuation des mécanismes de dégradation et la mise au point d'outils d'inspection entrant dans le mandat traditionnel de R et D d'EACL. Réciproquement, l'avancement des programmes de GVUC permet de définir l'orientation de la R et D CANDU. Des exemples de programmes actuels de R et D ayant des conséquences immédiates sur la GVUC sont les suivants : corrosion due à l'écoulement dans la tuyauterie secondaire, amincissement des tubes de liaison, déformation des canaux de combustible et comportement des défauts, performance des générateurs de vapeur, vieillissement des câbles et de l'élastomère et études de sûreté relatives au vieillissement.

Quatorze SSC cruciaux ont été répertoriés pour le réacteur CANDU 6, bien que la liste s'applique également, du moins partiellement, aux autres réacteurs CANDU. En conséquence les SSC évalués à Pointe Lepreau sont les suivants :

- canaux de combustible;
- structure du réacteur;
- structure du confinement;
- tuyauterie du circuit primaire (à l'exclusion des tubes de liaison, qui font l'objet d'une étude à l'échelle des réacteurs CANDU en raison de la corrosion due à l'écoulement, voir le rapport du Comité de 1998);
- tuyauterie des circuits classiques;
- générateurs de vapeur;
- câbles;
- composants de l'instrumentation et du contrôle-commande;
- récipients et échangeurs de chaleur;
- grosses pompes;
- sas;
- turbo-alternateur;
- prise d'eau de refroidissement et autres ouvrages du génie civil.

Le rapport d'évaluation pour chaque SSC contient une description complète du SSC et des sous-composants associés, y compris de l'information sur la fabrication, l'installation et la réparation. Le milieu de fonctionnement réel est examiné et comparé aux spécifications et aux

limites fixées à la phase de conception du SSC, et tous les mécanismes de dégradation plausibles sont pris en compte. Cela entraîne une évaluation de la vie utile vraisemblable du SSC et de la possibilité de prolongation de la vie utile. Le rapport se termine par des recommandations de mesures que la direction devrait prendre pour atteindre des vies utiles de 30 et de 50 ans.

À ce jour, environ 75 % des SSC sur la liste de Pointe Lepreau ont été évalués et des rapports ont été publiés. Comme prévu, la nécessité de poursuivre les inspections et méthodes existantes a été généralement soulignée dans les rapports, et des améliorations ont été recommandées, mais en même temps, certaines questions imprévues ont surgi. Par exemple, l'évaluation de la structure du réacteur a indiqué qu'aucune dégradation importante ne risquait de se produire, mais par mesure de prudence, le comportement de la fatigue due aux vibrations de certains tuyaux du circuit modérateur ainsi que la corrosion de certains composants des écrans axiaux devraient être examinés. En ce qui a trait à la prolongation de la vie utile de la structure du réacteur, la ductilité à long terme des soudures de la cuve devrait être vérifiée. Dans les générateurs de vapeur, les performances du tube en alliage 800 ont été bonnes et les pronostics de la prolongation de la vie utile sont également bons, bien qu'il soit nécessaire d'inspecter les parties internes du générateur de vapeur pour résoudre certaines incertitudes. Les recommandations portent sur le nettoyage périodique, les questions de contrôle de la chimie ainsi que les inspections et la surveillance proactives.

L'examen des procédures relatives notamment à la surveillance, à l'inspection, à l'entretien fait idéalement partie intégrante d'une évaluation de la gestion de l'infrastructure d'une centrale. On rappellera que des anomalies dans ce secteur ont été signalées par Ontario Hydro comme une des raisons principales de la mise sous cocon de Pickering A et de Bruce A. Les systèmes de gestion à évaluer comprennent la documentation adéquate de la configuration de la centrale, la prise en compte opportune des questions réglementaires, la gestion efficace des ressources humaines et une sensibilisation continue aux questions environnementales.

La démarche est fondée sur la maintenance axée sur la fiabilité (MAF), une méthode systématique pour chaque système faisant partie du programme d'entretien. La méthode consiste entre autres à poser sept questions fondamentales sur chaque système :

- Quelles sont ses fonctions et normes de performance?
- Comment peut-il ne pas remplir ses fonctions?
- Qu'est-ce qui provoque chaque défaillance fonctionnelle?
- Quelles sont les conséquences de chaque défaillance?
- Quelle est l'importance de chaque défaillance et pourquoi est-elle importante?
- Comment peut-on prédire ou empêcher les défaillances?
- Quelle méthode devrait-on suivre si l'on ne peut pas trouver de mesures préventives?

Les réponses débouchent sur la probabilité de la défaillance et sur les conséquences générales sur le fonctionnement de la centrale pour chaque système, de sorte que l'on peut attribuer un classement global. On peut prendre des décisions éclairées sur les calendriers d'entretien, mettre en œuvre la R et D nécessaire et fixer les priorités.

L'étude exploratoire initiale des réacteurs CANDU 6 appliquait la méthode MAF au circuit d'eau d'alimentation auxiliaire. Dans le cas de l'étude conjointe complète à Pointe Lepreau, on a recensé jusqu'à 40 systèmes, en commençant par le confinement et ses quatre sous-systèmes. L'objectif global est de réduire l'entretien correctif, y compris les réparations temporaires, ainsi que les coûts associés et de les remplacer par un programme d'entretien préventif systématique à des coûts inférieurs. Dans le cas de nombreux systèmes, ceci équivaut à une amélioration des procédures qui ont déjà été mises en place. Jusqu'ici, environ 25 % des systèmes ont été évalués avec la méthode MAF. Par exemple, la recommandation relative au sas de confinement porte sur la réduction de la fréquence d'essais pour les joints de pénétration, mais également sur le changement de la conception des joints de porte gonflables.

Le programme de la veille technologique consiste en une mise en réseau au sein de l'industrie CANDU, en premier lieu pour partager les informations de la centrale sur les performances, les modes de défaillance, etc., des SSC qui :

- ne sont pas remplaçables; ou
- sont essentiels à la sûreté; ou
- influent sur le facteur de charge de la centrale.

Dans ce contexte, les activités du GPC comme les ateliers sur les pratiques d'entretien et sur le vieillissement du générateur de vapeur sont des sources utiles d'information. De façon plus générale, il est clair que l'information sur les systèmes dans d'autres types de centrales nucléaires peut être également précieuse pour les réacteurs CANDU, aussi les organismes internationaux appropriés sont inclus dans le programme. Des programmes d'essai sur la recherche de l'information sur les robinets et la corrosion due à l'écoulement sont en cours.

En résumé, le programme conjoint EACL-Énergie NB a permis d'évaluer un grand nombre des SSC cruciaux du réacteur CANDU 6 et d'examiner les techniques d'entretien pertinentes à Pointe Lepreau en utilisant la méthode MAF. L'initiative de la veille technologique a commencé par des programmes d'essai. Jusqu'ici, les facteurs clés de la vie utile de la centrale semblent gérables. La façon intégrée d'aborder la GVUC s'avère efficace, ce qui de toute évidence dépend de la collaboration entre EACL et le producteur d'électricité. En dehors de l'application évidente des résultats du programme actuel à Pointe Lepreau, d'autres réacteurs CANDU et EACL en tireront profit. EACL pourra ainsi acquérir :

- une connaissance plus approfondie du comportement de son produit à utiliser dans les nouveaux modèles;
- de l'expérience dans l'établissement et l'administration d'un programme d'entretien, en plus des services déjà offerts à OPG dans l'exercice de remise en service de Pickering A, que l'on peut adapter et exploiter pour d'autres clients;
- de l'expérience pour offrir des forfaits d'entretien et d'inspection avec de nouvelles ventes;
- la certitude d'offrir des réacteurs CANDU à facteur de charge élevé et à longue vie utile;
- un autre mécanisme pour définir et exploiter les programmes de R et D.

Recommandation 1

Le Comité reconnaît l'importance des programmes de gestion de la vie utile de la centrale non seulement pour les producteurs d'électricité qui utilisent des réacteurs CANDU, mais également pour le concept intégral du réacteur CANDU et pour sa viabilité à long terme.

Par conséquent, le Comité recommande qu'EACL continue à se consacrer en priorité aux initiatives de GVUC comme le programme conjoint avec Énergie NB et qu'elle utilise au maximum l'expérience acquise à Pointe Lepreau en offrant les services à d'autres producteurs d'électricité, en déterminant les orientations de R et D et en commercialisant de nouveaux produits.

5.3 REMISE EN ÉTAT DE POINTE LEPREAU

La méthode actuelle d'EACL relative à la prolongation de la vie utile des réacteurs CANDU en exploitation consiste à mettre en œuvre les programmes de GVUC pour assurer une vie utile de soixante ans, avec une remise en état au milieu de la vie utile comprenant le remplacement des canaux de combustible.

Le réacteur CANDU 6 de Pointe Lepreau est un cas type intéressant, du fait qu'une étude de faisabilité détaillée pour la remise en état, lors d'un arrêt prolongé en 2006-2007, est effectuée conjointement avec EACL. Ainsi le milieu de la vie utile de cette centrale particulière serait de 23 à 24 années civiles soit environ 18 années à pleine puissance efficace.

Cette étude de faisabilité répond à une évaluation effectuée en 1993-1994 par un cabinet d'experts-conseils indépendant, Hagler Bailly, qui a examiné les conséquences économiques pour Énergie NB des options d'exploitation pour Pointe Lepreau. Après avoir pris en compte toutes les questions relatives à l'économie d'exploitation de la centrale comme les performances de l'équipement, la conformité aux règlements, les questions de personnel, etc., ce cabinet à conclu que :

- l'arrêt dans un avenir proche n'est pas l'option la plus économique;
- si la centrale doit continuer à fonctionner, certaines incertitudes au point de vue de l'estimation des coûts doivent être résolues;
- l'option la plus économique est que la centrale fonctionne jusqu'en 2032.

La deuxième de ces conclusions sous-entend l'assurance des performances de fonctionnement de la centrale, même avant que la remise en état ne soit entreprise. En conséquence, avec l'exercice de GVUC décrit à la section 5.2, Pointe Lepreau a établi des mesures d'assurance qualité visant les anomalies éventuelles dans un vaste éventail d'activités de gestion et d'exploitation, dont un grand nombre ont été répertoriées dans les vérifications de performances périodiques de l'Association mondiale des exploitants de centrales nucléaires comme des secteurs d'amélioration. L'organisation des arrêts de la centrale est une activité clé à l'étude. La dernière conclusion porte sur la remise en état de la centrale suivie d'un fonctionnement réel continu le

plus longtemps possible (il est à noter que l'année 2032 implique une vie utile d'exploitation économique d'au moins 50 années civiles).

L'étude de faisabilité a commencé au début 2000, et jusqu'ici envisage la remise en état en trois phases : phase 1, définition; phase 2, préparation; et phase 3, mise en oeuvre.

La période de définition de la phase 1, qui comprend l'étude de faisabilité actuelle, doit déboucher sur la recommandation au début 2002 d'attaquer la remise en état. Les études techniques préliminaires des composants et des installations font appel à l'expérience technique d'EACL. En particulier, le remplacement à grande échelle des canaux de combustible (RGECC) nécessite une planification détaillée en tirant profit de la mise au point de techniques par EACL pour l'extraction rapide des vieux canaux de combustible et pour la mise en place de nouveaux. On prévoit actuellement couper tous les anciens tubes de liaison juste au-dessous des gaines de congélation. Les sections inférieures seront remplacées par un tuyau tout soudé, comprenant les soudures au prolongement de canal. À ce stade, on ne sait pas exactement quel matériau sera choisi pour les tubes de liaison. Les canaux de combustible seront progressivement retirés du cœur par courts tronçons, découpés et aplatis pour faciliter leur évacuation et leur stockage. Le canal de combustible de référence prévu pour le remplacement est actuellement le modèle de Qinshan 2, avec bracelets de centrage étroits, un tube de cuve sans soudure et des raccordements soudés entre les prolongements de canal et les tubes de liaison. Toutefois, une possibilité envisagée est que le tube de force soit déjà muni d'anneaux d'espacement, plutôt que de bracelets de centrage avant l'insertion. Les anneaux d'espacement sont des bagues robustes, fixées dans des «canaux» circonférentiels sur le pourtour des tubes de force, avec des raïnures parallèles à l'axe du tube pour permettre au gaz annulaire de circuler entre les tubes de force et les tubes de cuve. Cette différence par rapport au dispositif d'espacement classique soulève manifestement des questions au sujet des effets possibles sur le comportement des tubes de force et met l'accent sur la nécessité de R et D continue dans ce secteur ainsi que dans d'autres dans lesquels des changements importants doivent être apportés. Les questions d'autorisation et de mise en œuvre dans les centrales en exploitation se posent également et donnent l'occasion à EACL de travailler davantage avec le producteur d'électricité afin d'assurer un processus périodique d'acceptation et d'installation des composants.

Recommandation 2

Le Comité recommande qu'EACL travaille avec Énergie NB pour déterminer quels sont les besoins de R et D et de mise en œuvre associés à la remise en état de Pointe Lepreau et pour établir des programmes qui s'attaquent à ces besoins.

En dehors de la planification du RGECC, l'évaluation de la GVUC des systèmes cruciaux, comme on l'a décrit antérieurement, constitue une partie importante de cette phase de l'exercice de remise en état. Cette phase de définition doit également aborder les questions de sûreté et d'autorisation. Quand des mesures doivent être prises, elles sont examinées au cours de réunions périodiques avec la CCSN. De plus, on doit prendre des engagements sérieux vis-à-vis des programmes d'information du public.

La période de préparation de la phase 2 part d'une recommandation positive en 2002 au début de l'arrêt pour remise en état qui est maintenant prévu pour le début 2006. On rappellera que les canaux de combustible à Pointe Lepreau devraient être prêts à être mis en service au moins en 2008. Toutefois, si l'on planifiait un arrêt plus tôt en 2006, cela donnerait plus de souplesse pour la date d'arrêt réelle dans le cas où un délai serait demandé, et réduirait le risque d'incidents à coût élevé qui pourraient se produire plus près de la fin de la vie utile des tubes de force.

Afin de se préparer pour le RGECC, on établira des procédures détaillées et on entreprendra l'approvisionnement en matériaux pour les nouveaux canaux de combustible. Selon les résultats des évaluations de la GVUC, on entreprendra l'ingénierie détaillée pour les systèmes qui nécessitent des modifications de conception et on veillera à l'approvisionnement des matériaux nécessaires. Les consultations avec la CCSN se poursuivront pour résoudre les questions de sûreté et d'autorisation et on préparera une évaluation probabiliste globale de la sûreté. Dans cette phase de travaux également, des programmes d'information du public sont jugés importants pour le succès du projet.

La mise en œuvre de la restauration de la phase 3 visera la remise en service de Pointe Lepreau fin 2007, avec une période d'arrêt totale de moins de deux ans. Les 380 canaux de combustible avec les parties inférieures de leurs tubes de liaison seront remplacés au cours du RGECC et les systèmes répertoriés lors de l'exercice de GVUC seront remis en état selon les besoins. En outre, l'amélioration des systèmes de sûreté sera mise en œuvre au cours de cette phase.

Un développement intéressant qui découle des travaux actuels de la phase 1 est qu'au cours du reconditionnement de la phase 3 du groupe turbo-alternateur on pourrait obtenir un rendement supplémentaire de 1 à 2 % pour tout le système en apportant des modifications comme le remplacement d'une partie de l'aubage.

En résumé, dans la phase 1 actuelle de l'exercice de remise en état à Pointe Lepreau, Énergie NB a engagé EACL pour participer aux évaluations d'ingénierie et aux travaux de préparation du RGECC. Les détails des travaux à effectuer lors de l'exercice, les coûts et les risques pour Énergie NB seront communiqués en temps utile. On recherche actuellement des partenaires commerciaux pour partager les risques de l'entreprise et par la suite les avantages.

Recommandation 3

La remise en état, comprenant le remplacement à grande échelle des canaux de combustible à Pointe Lepreau, démontre que le concept d'une longue vie utile (soixante ans pour un nouveau réacteur avec la technologie actuelle) pour la filière CANDU est réalisable. Le succès de l'exercice à Pointe Lepreau est par conséquent jugé vital pour la survie de l'option CANDU.

Par conséquent, le Comité considère que la collaboration d'EACL avec Énergie NB dans la remise en état est essentielle pour sa mission et estime qu'EACL devrait participer à toutes les activités appropriées pour assurer son succès. L'exercice d'information du public, en particulier, est un aspect essentiel du programme auquel EACL devrait prendre une part importante.

Le Comité recommande par conséquent qu'EACL continue à collaborer avec Énergie NB pour la remise en état de Pointe Lepreau et qu'elle ne ménage pas ses efforts dans toutes les phases du projet pour assurer son succès.

CHAPITRE 6 : MILIEU DE RÉGLEMENTATION NUCLÉAIRE

6.1 INTRODUCTION

Le Comité s'efforce de se tenir au courant de l'évolution de la réglementation nucléaire au Canada puisqu'ils peuvent avoir des conséquences importantes sur les activités de recherche, de mise au point et de conception d'EACL. En 1999, le Comité s'est penché sur les conséquences de la décision de 1988 par la CCEA, maintenant la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), de publier une liste de «sujets génériques» (SG) c'est-à-dire une liste de sujets importants sur la sûreté nucléaire qui, pour le personnel de la CCEA, ont une applicabilité générique. En janvier 1999, la CCEA a entrepris une série de Déclarations de position sur les SG, devant être mise à jour chaque année et décrivant la question de sûreté nucléaire sous-jacente à chaque article, les exigences réglementaires stipulées comme étant essentielles pour pouvoir les résoudre de façon satisfaisante, la résolution de chaque sujet et l'état de chaque sujet. Au cours de l'année, le Comité a déterminé l'état des SG et a appris que le personnel de la CCSN :

- poursuivait le processus SG;
- préparait un rapport d'évaluation sur la situation globale du processus SG et de chaque SG.

La publication du rapport est prévue pour l'automne 2000.

Le Comité estime que, malgré certaines différences entre la CCSN et ses titulaires de permis relativement au «critère de clôture» et au calendrier de résolution de certains SG, la situation est bien plus acceptable que durant les premières années. Un examen ultérieur de la question sera effectué une fois que le rapport d'évaluation rédigé par le personnel de la CCSN sera publié.

D'autres composants du processus de réglementation nucléaire qui sont examinés périodiquement par le Comité comprennent le processus global lui-même, les exigences techniques en évolution constante qui pour la CCSN découlent de sa mission de «s'assurer que l'exploitation et l'utilisation de l'énergie nucléaire au Canada ne posent pas de risque inacceptable pour la santé et la sécurité des travailleurs, du public et de l'environnement», et les mesures prises ou planifiées par la CCSN qui ont des retombées directes sur la R et D au Canada, comme sa demande de fin 1999 au Groupe des propriétaires de centrales CANDU (GPC) «d'évaluer la pertinence des programmes de R et D et l'infrastructure en place pour assurer le fonctionnement sûr des réacteurs CANDU canadiens» (voir section 6.4 du présent chapitre.)

Un groupe de travail du Comité s'est réuni avec les cadres de la CCSN pour actualiser les connaissances du Comité sur les activités réglementaires en cours. La réunion a eu lieu au mois d'août et les informations obtenues sont intégrées dans la présente section et dans d'autres sections de ce rapport.

6.2 LE PROCESSUS DE RÉGLEMENTATION POUR LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES AU CANADA

6.2.1 Réglementation informée sur le risque

Le 31 août 1946, la *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique* est promulguée et deux mois plus tard la Commission de contrôle de l'énergie atomique récemment créée publie un premier ensemble de règlements. Près de 54 ans plus tard, le 31 mai 2000, la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* est promulguée. La Commission canadienne de sûreté nucléaire récemment créée publie immédiatement un ensemble de règlements complets en neuf parties avec ses règles de procédure.

Comme dans le cas des règlements qu'ils ont remplacés, les nouveaux règlements servent de cadre pour la réglementation nucléaire dans lequel les exigences de sûreté établies au cours des quatre décennies précédentes de façon essentiellement déterministe continueront à s'appliquer. Malheureusement on ne reconnaît pas explicitement le concept de règlement avec information sur le risque dans lequel les exigences de sûreté sont déterminées en se fondant sur les évaluations de sûreté probabilistes particulières à la centrale comme on l'explique au paragraphe 6.2.2.

Afin que le Comité comprenne mieux les changements apportés au processus de réglementation pour les réacteurs nucléaires au Canada qui devraient ressortir de la nouvelle loi et des règlements et règles de procédure, ce sujet a été inscrit à l'ordre du jour de la réunion du mois d'août 2000 avec le personnel de la CCSN. Avant la réunion, le Comité a examiné un rapport de 1999 sur le processus de réglementation pour les réacteurs nucléaires aux États-Unis [1]. Le rapport a été rédigé sous l'égide du *Centre for Strategic and International Studies* (CSIS), Washington, DC. Il porte sur les 13 sujets qui ont été au centre des interactions passées et actuelles entre la *US Nuclear Regulatory Commission* (USNRC), l'industrie et le public. Ces 13 sujets présentent certaines ressemblances avec les sujets passés et actuels entre la CCEA/CCSN, l'industrie et le public. Dans ce rapport du CSIS, on met tout particulièrement l'accent sur le régime de réglementation informée sur le risque qui est maintenant mis en œuvre aux États-Unis.

Les représentants du Comité ont examiné le rapport du CSIS avec les membres du personnel de la CCSN, qui ont indiqué que la Commission avait l'intention de chercher à obtenir une reconnaissance plus officielle de l'importance du processus de réglementation informée sur le risque dans lesquels les arguments probabilistes et de coûts-avantages seraient pris en compte de façon plus évidente et plus périodique. Le personnel de la CCSN rédige actuellement des lignes directrices en matière de politiques ainsi que des procédures à utiliser pour juger de l'acceptabilité de tels arguments. En outre, le personnel de la CCSN et de l'USNRC étudie les pratiques récentes de cette dernière sur ce sujet dans le cadre de leurs échanges bilatéraux continus. Le Comité a le plaisir d'apprendre ces progrès et est convaincu qu'il en résulterait un processus de réglementation plus approprié, plus efficace et plus efficient, sans réduire les normes de sûreté publique et professionnelle. Un avantage ajouté important consistera à mieux concentrer et réaligner les priorités dans les efforts de R et D sur la sûreté du réacteur.

Le chapitre 2 du présent rapport cite une recommandation de la Table de l'électricité [2] selon laquelle, en supposant que l'énergie nucléaire soit reconnue pour sa capacité à faire face au changement climatique, les gouvernements doivent résoudre les questions réglementaires relatives à l'énergie nucléaire. La Table de concertation ne trouve aucun problème particulier dans le règlement de l'énergie nucléaire, de sorte qu'il est difficile de commenter cette recommandation. Le Comité estime que l'adoption par la CCSN de procédures de réglementation plus informées sur le risque, comme on l'a déjà vu, se traduira par un régime de réglementation plus efficace.

Le Comité a l'intention de continuer à surveiller le processus de réglementation nucléaire au Canada, en particulier, les développements dans la réglementation informée sur le risque, en vertu de la nouvelle *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, pour s'assurer que toute retombée importante sur la R et D relative à la sûreté du réacteur est bien enregistrée et dûment prise en compte.

6.2.2 Évolution de l'évaluation probabiliste des risques au Canada

En ce qui a trait au règlement informé sur le risque, il est bon de noter que la réglementation des réacteurs nucléaires au Canada, tout en étant à caractère fondamentalement déterministe, a intégré un concept du risque dès le début. Les premiers critères de sûreté et d'autorisation du réacteur au Canada ont été proposés et élaborés à la fin des années 50 et au début des années 60 par Siddall et Lewis [3] et par Laurence [4]. Ils ont proposé des normes de sûreté pour les centrales nucléaires fondées sur leurs avantages économiques et leurs dépenses de santé par rapport à ceux des centrales au charbon de remplacement. Cette méthode s'est traduite par un critère selon lequel la probabilité d'un accident grave devrait être inférieure à 10^{-5} année-réacteur.

Cette méthode a été intégrée officiellement dans le Guide sur le choix du site de la CCEA [5]. Le guide a été élaboré davantage et modifié en 1972 [6] pour préciser ce qui était appelé «limites de dose de référence individuelle et de la population» pour l'exploitation normale et pour deux classes d'«accidents» hypothétiques. Les limites de fréquence pour les deux classes d'accidents ont été indiquées. Les doses maximales de référence et les limites de fréquence de référence pour les accidents ont été choisies en prévoyant que la probabilité de manifestation accrue de leucémie, considérée comme le danger radiologique le plus important dû aux centrales nucléaires, devrait être faible par rapport à son taux normal de manifestation.

En tenant compte de l'expérience, la CCEA a établi des exigences supplémentaires et finalement a publié un guide d'autorisation en 1995 [7]. Ce document donne les limites de dose pour cinq classes d'accidents, mais ne précise pas la plage de fréquence hypothétique pour chacune, attribuant plutôt des listes de séquences d'accident particulières à chacune des cinq classes fondées sur la gravité hypothétique. Ainsi, elle ne reconnaît pas explicitement un concept de risque. Toutefois, elle reconnaît l'évaluation probabiliste des risques (EPR) comme une méthode que l'on peut utiliser pour appuyer l'analyse déterministe.

Pour pouvoir appliquer l'évaluation probabiliste des risques, aussi appelée évaluation probabiliste de la sûreté (EPS), il faut avoir une connaissance approfondie de tous les systèmes du réacteur et de la partie classique de la centrale, des structures et des composants (SSC). Il faut également connaître les événements déclencheurs éventuels et le déroulement des séquences d'événement,

savoir reconnaître les interliaisons éventuelles entre les événements et les événements de cause commune éventuels, connaître les fréquences de défaillance de tous les composants, les facteurs humains (comportement dans des conditions de stress), le comportement physique des SSC dans des conditions d'accident, le comportement des espèces radioactives rejetées dans les accidents et les effets biologiques de ces rejets, ainsi que les méthodes mathématiques nécessaires pour prendre en compte toute l'information ainsi que les incertitudes. Au cours des ans, une telle information et une telle méthode ont été acquises et élaborées grâce à l'expérience d'exploitation, la recherche et l'analyse pour différents types de réacteurs. Aujourd'hui la méthode EPR est répandue pour l'analyse de sûreté des réacteurs.

L'application de l'EPR aux réacteurs CANDU a évolué à partir de la méthode de «matrice de conception de la sûreté» qui consistait en des évaluations de la fiabilité de divers systèmes dans des conditions d'accident à long terme. La première EPR importante pour un réacteur CANDU a été entreprise par Ontario Hydro pour la centrale nucléaire Darlington en 1987 [8] et a été suivie par une étude d'EPR d'un réacteur CANDU 6 en 1988 [9]. EACL a effectué des analyses d'EPS limitées pour Wolsong 2, 3 et 4 et établit actuellement un programme EPS générique complet pour les réacteurs CANDU [10]. EACL entreprend également une analyse EPS du réacteur CANDU 9 [11]. Les outils permettent donc à la CCSN d'avoir recours à la réglementation informée sur le risque plus largement qu'auparavant. Cela permettrait d'obtenir un processus de réglementation plus efficace et plus rentable, qui non seulement continuerait d'assurer la sûreté du public et des travailleurs mais encore l'améliorerait. Dans cette situation, le Comité fait la recommandation suivante. (Voir également la recommandation 7 du chapitre 4, partie 1 du présent rapport.)

Recommandation 1

Le Comité recommande qu'EACL continue à élaborer la méthode d'évaluation probabiliste de sûreté avec pour objectif de lui permettre d'axer ses activités de R et D relative à la sûreté sur les questions de conception et d'exploitation en fonction de leur importance pour la santé du public et des travailleurs ainsi que pour la sûreté aux installations nucléaires. On devrait poursuivre cette activité en collaboration avec la CCSN dans le but d'activer l'application des principes informés sur le risque à l'autorisation des réacteurs.

L'expérience de la méthode EPS a révélé que l'on peut obtenir des avantages considérables au point de vue économie et échéancier en l'appliquant parallèlement aux processus de conception. On peut alors repérer rapidement et corriger les lacunes éventuelles et entrevoir des solutions de conception à sûreté optimisée [12]. Par conséquent, il est important que l'on applique le plus tôt possible cette méthode EPS générique d'EACL au modèle NG CANDU, pour bénéficier entièrement de l'avantage de la méthode.

Recommandation 2

Le Comité recommande qu'EACL commence à appliquer dès que possible la méthode générique EPS du réacteur CANDU au réacteur NG CANDU dans le cadre du processus de conception.

6.2.3 Évaluation environnementale en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*

En vertu de la nouvelle *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, la CCSN est responsable des évaluations environnementales des installations autorisées. La CCSN a signifié son intention de jouer un rôle plus actif dans l'application de la *Loi sur l'évaluation environnementale* aux installations nucléaires.

Comme il le mentionne au chapitre 2, le Comité est préoccupé de ce que la portée de l'évaluation environnementale de la remise en service de Pickering A ne comprenne pas l'évaluation de l'impact environnemental de ne pas remettre en service la centrale. Si l'on ne la remettait pas en marche, des rejets continus de CO_2, de SO_2 et de NO_x proviendraient des centrales au charbon qui produiraient l'électricité de remplacement. Il est évident qu'une évaluation environnementale valable doit inclure ce facteur.

Le personnel de la CCSN a publié récemment son rapport d'examen environnemental préalable sur la remise en service de Pickering A [13], qui ne prend pas en compte la non remise en marche, mais qui conclut que le projet de remise en service de Pickering A ne devrait pas provoquer d'effets préjudiciables importants sur l'environnement. S'il s'agit d'une étape positive, des audiences publiques doivent toujours être tenues avant que la CCSN ne prenne sa décision finale sur l'acceptabilité environnementale de la remise en service et détermine un plan d'action approprié. Étant donné que la remise en service de Pickering A est un élément vital dans la réduction des émissions des GES au Canada, comme on l'a vu au chapitre 2, il est très important que ces aspects soient inclus dans l'évaluation environnementale globale de sa remise en service. En outre, la CCSN doit reconnaître dans les évaluations environnementales futures la part importante de l'énergie nucléaire dans les efforts du Canada visant à respecter ses engagements de Kyoto ainsi que le rôle potentiel encore plus important de l'énergie nucléaire au-delà de l'échéancier de Kyoto, comme on l'a vu au chapitre 2.

Recommandation 3

Le Comité recommande qu'EACL, conjointement avec d'autres organismes de l'industrie nucléaire, s'assure que les effets positifs importants de l'énergie nucléaire dans la réduction des GES et autres rejets de polluants atmosphériques sont pris en compte dans les évaluations environnementales futures, entreprises par la CCSN dans le processus d'autorisation des installations nucléaires au Canada.

6.3 RÉGLEMENTATION NUCLÉAIRE ET RESSOURCES HUMAINES

Un autre sujet examiné avec le personnel de la CCSN a été celui de la planification des ressources humaines et en particulier le défi de plus en plus difficile qui consiste à faire face à l'expérience rare dans un réservoir d'experts qui diminue rapidement. Le personnel de la CCSN est bien conscient, comme ses collègues de l'industrie, que le nombre de personnes ayant de l'expérience en conception, en exploitation et en sûreté a été réduit considérablement en raison de compressions importantes à EACL et à OPG.

Les membres de la CCSN et le personnel cadre sont conscients de cette détérioration de la situation depuis le début des années 90, qui a commencé par la compression importante des effectifs d'Ontario Hydro de 1993. La CCSN a indiqué ses préoccupations sur la situation dans sa demande au GPC de rédiger un rapport sur la capacité de R et D nucléaire au Canada.

Les représentants du Comité ont par la suite discuté de la situation avec les représentants du Comité consultatif de la sûreté nucléaire. La discussion a démontré que le Comité consultatif de la sûreté nucléaire était également préoccupé des lacunes croissantes dans le processus de sélection, de recrutement et de formation de nouveau personnel de réglementation.

Dans son rapport annuel de 1998, le Comité a examiné les ressources humaines d'EACL et leur relation avec les priorités de R et D d'EACL et a fait des recommandations pour qu'EACL prenne des mesures. Le Comité est maintenant préoccupé par la perte d'expérience et des difficultés de recrutement dans l'industrie nucléaire en général et à la CCSN en particulier. Le Comité n'est pas au courant de quelque plan coordonné que ce soit dans l'industrie nucléaire pour aborder ce problème.

Recommandation 4

Le Comité recommande qu'EACL demande au Groupe des propriétaires de centrales CANDU et à la Commission canadienne de sûreté nucléaire d'élaborer un plan coordonné pour s'attaquer aux problèmes du manque d'expérience, du recrutement et de la formation de personnel dans l'industrie nucléaire au Canada.

6.4 EXAMEN DU GPC SUR LES CAPACITÉS DE R ET D NUCLÉAIRE AU CANADA

Des discussions avec le personnel de la CCSN en août 2000 ont également porté sur le rapport des capacités de R et D du GPC [14] ainsi que sur les résultats de l'examen du Comité sur ce sujet [15]. Les membres du Comité ont indiqué qu'un nouveau réacteur de recherche est de toute évidence nécessaire et que le Centre canadien de neutrons (CCN) conviendrait parfaitement. Le réacteur de recherche NRX et plus tard le réacteur NRU ont permis à un grand nombre de jeunes chercheurs, opérateurs et, dans de nombreux cas, à des spécialistes en réglementation d'acquérir les connaissances et l'expérience essentielles au programme nucléaire canadien.

Le personnel de la CCSN a expliqué que si les producteurs d'électricité devaient s'intéresser sérieusement à l'utilisation de la grappe CANFLEX et au combustible à uranium légèrement enrichi, on aurait alors un argument décisif supplémentaire pour construire un nouveau réacteur de recherche. (Note : le Comité est d'avis que du fait que le modèle NG CANDU est fondé sur les grappes CANFLEX avec combustible à uranium légèrement enrichi, on pourrait s'attendre à obtenir une autre déclaration de soutien si EACL devait informer officiellement la CCSN, et ce dès que possible, de son intention d'entreprendre le programme NG CANDU. Le Comité recommande à EACL d'étudier cette possibilité.

6.5 CONCLUSIONS

Le personnel de la CCSN est conscient des initiatives prises par le personnel de la *US Nuclear Regulatory Commission* qui ont pour but de mettre davantage l'accent sur la réglementation informée sur le risque des centrales nucléaires. L'objectif de l'USNRC est d'axer les frais de permis et l'attention de l'organisme de réglementation sur les questions de conception et d'exploitation en fonction de leur importance pour la santé du public et la sûreté. Le Comité estime que si la CCSN poursuit ses recherches actuelles sur la réglementation informée sur le risque et continue à effectuer des échanges avec l'USNRC, un régime réglementaire plus approprié, plus efficace et plus effectif fera son apparition au Canada.

Les efforts récents d'EACL en vue d'établir une méthode EPS pour les réacteurs CANDU constituent un point de départ important à partir duquel on peut susciter davantage de contributions à l'échelle de l'industrie pour l'avancement d'un régime réglementaire informé sur les risques au Canada.

Les compressions importantes d'*Ontario Power Generation* et les réductions ultérieures dans les programmes de R et D commandités par EACL et le producteur d'électricité ont réduit considérablement les effectifs ayant de l'expérience en conception, en exploitation et en sûreté. L'absence d'un plan coordonné mettant en présence EACL et les trois producteurs d'électricité nucléaire qui contrerait les effets de ces événements négatifs est une question très importante, qui devrait être rectifiée le plus rapidement possible (voir chapitre 9 du présent rapport).

BIBLIOGRAPHIE

1. Ahearne, J.F. et coll.; *The Regulatory Process for Nuclear Power Reactors. A Review*, The Center for Strategic and International Studies, Washington, 1999.

2. Table de concertation de l'électricité. *Rapport sur les options*. 3 novembre 1999.

3. Siddall, E. et W.B. Lewis; *Reactor Safety Standards and Their Attainment*, AECL-498, septembre 1957.

4. Laurence, G.C., *Reactor Siting in Canada*, AECL-1375, octobre 1961.

5. *Reactor Siting and Design Guide*, Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1964.

6. Hurst, D.G. et F.C. Boyd, *L'autorisation des réacteurs nucléaires, exigences de sécurité*, CCEA-1059, 1972.

7. *L'analyse de sûreté des centrales nucléaires CANDU*, Commission de contrôle de l'énergie atomique, Document de consultation C-6, révision 1, avant-projet, octobre 1995.

8. *Darlington Probabilistic Safety Evaluation, Summary Report*, Ontario Hydro, décembre 1987.

9. Howieson, J.Q., H.S.Shapiro, P.J.Allen, J.T.Rogers, P.Mostert et R.W.Van Otterloo; *Probabilistic Risk Assessment Study of a CANDU 600*, Actes du symposium international sur les accidents graves dans les centrals nucléaires, Agence internationale de l'énergie atomique, mars 1988.

10. Bonechi, M., T. Aziz, R. Jaitly, P.M. Mathew et A. Stretch; *Generic CANDU PSA Program at AECL*, IAEA Workshop on Probabilistic Safety Assessments for Pressurized Heavy Water Reactors, Toronto, mai 1999.

11. Bonechi, M. et A.L. Wight, *CANDU-9 Safety and Licensing Update*, EACL 1999.

12. Brooks, G.L., *Early Steps in the Evolution of CANDU Probabilistic Safety Analysis*, IAEA Workshop on Probabilistic Safety Assessments for Pressurized Heavy Water Reactors, Toronto, mai 1999.

13. *Centrale nucléaire Pickering A, Remise en service, Rapport d'examen environnemental préalable*, Commission canadienne de sûreté nucléaire, 31 août 2000.

14. *CANDU Research and Development Capability Review*, Groupe des propriétaires des centrales CANDU, COG-00-59, mars 2000.

15. *Comments on Draft Report: CANDU Research and Development Capability Review*, Préparé par le Groupe des propriétaires de centrales CANDU, mars 2000. Comité consultatif de R et D d'EACL, 2 avril 2000.

CHAPITRE 7 : GESTION DES CODES DE CALCUL POUR L'ANALYSE DE CONCEPTION ET DE SÛRETÉ

7.1 INTRODUCTION

Ce chapitre comprend une mise à jour de la section 4.3 du rapport du Comité de 1999 axée sur l'assurance qualité et la validation des codes de calcul, la boîte à outils standard de l'industrie et le Comité de gestion des codes et le Centre des codes. Les nouveaux sujets discutés ici sont les procédures d'homologation pour les codes actifs d'EACL, et les conséquences du programme NG CANDU, comme on le décrit au chapitre 4, partie 1 du présent rapport, sur le programme de gestion des codes d'EACL. Comme c'était le cas dans le rapport du Comité de 1999, seuls les codes de calcul utilisés pour l'analyse de conception et de sûreté du réacteur seront pris en compte.

7.2 ASSURANCE QUALITÉ DU LOGICIEL ET HOMOLOGATION DES CODES

EACL a établi une politique pour l'assurance qualité du logiciel (AQL) et a publié un Guide d'assurance qualité pour les codes de calcul, conforme aux exigences de l'Association canadienne de normalisation (CSA) et de l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

En juillet 1999, la CCSN a ouvert un sujet générique (SG) sur l'assurance qualité de l'analyse de sûreté (99G01). Ce SG indique les normes CSA et les guides de réglementation de la CCSN à suivre pour les codes de calcul utilisés dans l'analyse de sûreté et définit les critères de clôture et donne une date de clôture, le 31 décembre 2001.

EACL a effectué une vérification d'assurance qualité interne de son analyse de sûreté du réacteur CANDU 9 et a conclu qu'elle était conforme aux exigences du document GAI 99G01. EACL ne prévoit pas de problèmes importants en ce qui a trait à l'assurance qualité des analyses de sûreté des réacteurs futurs à condition qu'elle respecte le Guide d'assurance qualité d'EACL pour les codes de calcul.

EACL a évalué ses codes de calcul actuels pour l'analyse de conception et de sûreté des réacteurs et a déterminé ceux qui seront conservés comme codes actifs, dont un petit nombre qui sont essentiels aux processus d'analyse de sûreté et d'autorisation d'EACL. En général, ces codes doivent être conformes aux exigences du Guide d'assurance qualité d'EACL et en ce qui a trait aux applications d'analyse de sûreté, ils doivent répondre aux critères de clôture, indique la CCSN dans le document SG 99G01. Toutefois, les exigences de conformité varient selon le degré de sûreté ou de conception de l'application, les décisions sur la conformité étant prises en fonction du risque. EACL a établi un Plan d'homologation pour ces codes, qui précise les exigences et les conditions relatives à l'homologation d'un code ainsi que les exigences de coût et de ressource pour ce travail.

7.3 VALIDATION DES CODES DE CALCUL

Un élément nécessaire dans l'homologation d'un code de calcul est la validation du code, en comparant ses prédictions aux données expérimentales fiables, dans l'ensemble de conditions dans lequel il doit être appliqué. En 1998, la CCSN a ouvert un sujet générique sur la validation des

codes de calcul utilisés dans l'analyse de sûreté des réacteurs de puissance (GAI 98G02) et a publié une déclaration de position sur ce SG en mai 1999. Cette déclaration de position indique les exigences relatives à la validation, la portée des programmes en question, la relation de ce SG avec d'autres SG, elle définit les critères de clôture et fixe une date de réalisation finale, le 31 décembre 2001. EACL poursuit actuellement la validation de ses codes de calcul, en tenant la CCSN bien informée, et en accordant la priorité aux codes clés aux fins de sûreté et d'autorisation.

Comme le Comité l'a mentionné dans son rapport de 1999, EACL élabore une méthode améliorée d'analyse de sûreté des réacteurs qui utilise la meilleure estimation avec une analyse d'incertitude rigoureuse fondée sur les statistiques [1, 2]. Pour que cette méthode soit efficace, on doit suivre de bonnes pratiques et procédures expérimentales dans les programmes expérimentaux utilisés aux fins de validation. Elles comprennent des exigences comme la représentation physique adéquate des conditions du réacteur, la conception prudente des expériences, spécialement l'instrumentation, un contrôle minutieux des conditions expérimentales et une analyse complète des erreurs des données qui en résultent. Cette méthode peut amener à tolérer moins de conservatisme dans la conception des réacteurs, avec la possibilité de réduire les dépenses d'investissement et d'améliorer la souplesse d'exploitation sans mettre en péril la sûreté du public. La méthode peut également permettre d'axer la R et D relative à la sûreté sur les secteurs les plus importants et servir de base pour les procédures d'exploitation en cas d'urgence plus précises dans les conditions d'accident. Le Comité a indiqué qu'il appuyait fortement l'utilisation de cette méthode ainsi que son incorporation dans le processus d'analyse de sûreté et d'autorisation.

7.4 CODES DE CALCUL DE LA BOÎTE À OUTILS STANDARD DE L'INDUSTRIE

Comme on l'a vu dans le rapport du Comité de 1999, une entente a été prise entre EACL, *Ontario Power Generation*, Énergie Nouveau-Brunswick et Hydro-Québec afin d'utiliser et de mettre à jour un ensemble unique de codes de calcul essentiels, pour l'autorisation et l'analyse de sûreté. La plupart des codes principaux d'autorisation et d'analyse de sûreté d'EACL mentionnés à la section 7.2 ont été déjà désignés comme codes de boîte à outils standard de l'industrie (BOSI), d'autres codes étant maintenant pris en compte comme codes BOSI. Si EACL montre l'exemple en homologuant les codes d'analyse de sûreté et d'autorisation clés, en vertu de l'entente BOSI, les producteurs d'électricité utilisant des réacteurs nucléaires se sont également engagés à participer à l'homologation des codes, certains travaux étant exécutés par l'intermédiaire du GPC.

Le Comité met l'accent sur l'importance d'une méthode d'analyse de sûreté uniforme parmi les partenaires de la BOSI. Le Comité a le plaisir d'apprendre qu'*Ontario Power Generation* utilise maintenant également la méthode d'analyse de la meilleure estimation plus incertitude utilisée par EACL [3].

7.5 COMITÉ DE GESTION DES CODES ET CENTRE DES CODES

Le Comité de gestion des codes d'EACL est chargé de s'assurer que les codes d'analyse de sûreté et d'autorisation clés répondent aux critères de clôture du sujet générique 99G01 de la CCSN, que tous les codes actifs sont conformes au Guide d'assurance qualité d'EACL et que les codes actifs sont validés de façon appropriée. Le Comité de gestion des codes approuve les codes à utiliser à EACL quand ils sont homologués par des vérifications internes des processus de gestion des codes et de la

documentation. Il supervise également le Bureau de contrôle des modifications aux programmes de calcul (BCMPC), qui a été mis sur pied pour s'assurer que les modifications aux codes de calcul sont conformes au Guide d'assurance qualité.

Une autre fonction importante du Comité de gestion des codes est de diriger le fonctionnement du Centre de codes d'EACL. Ce Centre mettra la technologie d'EACL plus à la portée des clients actuels, des clients éventuels, des universités et des instituts dans des conditions contrôlées (voir le chapitre 9 à propos des relations du Centre de codes avec les universités). Le Comité réitère son appui à l'égard du Centre de codes et est d'avis qu'une plus grande connaissance de la technologie CANDU et MAPLE favorisera non seulement les débouchés commerciaux pour EACL, mais elle contribuera également à attirer des jeunes ingénieurs et scientifiques vers l'industrie nucléaire. Le Comité a le plaisir de noter qu'EACL, à la suite d'une recommandation dans son rapport de 1999 d'informer les utilisateurs éventuels du Centre et de ses services, a publié des notes sur la formation du Centre de codes, a présenté une communication à ce sujet à la conférence nucléaire du Bassin du Pacifique 2000 et a pris d'autres mesures pour le faire connaître.

7.6 ÉLABORATION DES CODES POUR LE RÉACTEUR NG CANDU

Le réacteur NG CANDU représente une des initiatives les plus importantes qu'EACL a entreprises au cours des dernières années. Le modèle NG CANDU, le programme de R et D nécessaire pour l'appuyer et les installations nécessaires pour le programme de R et D sont décrits au chapitre 4, partie 1 de ce rapport. Le programme NG CANDU aura des conséquences importantes sur l'élaboration et l'homologation des codes de calcul d'EACL et ces conséquences doivent être prises en compte dans les activités de gestion des codes d'EACL. L'utilisation d'uranium légèrement enrichi (SEU) dans une grappe CANFLEX, d'un caloporteur à eau ordinaire à température et pression supérieures, la réduction du pas de réseau, le nouveau canal de combustible et d'autres modifications entraîneront tous des changements dans les codes clés d'analyse de sûreté et d'autorisation d'EACL ainsi que dans un grand nombre d'autres codes de calcul actifs d'EACL. Ces codes doivent alors être homologués et validés en fonction des nouvelles conditions. Dans la plupart des cas, cette validation nécessitera l'acquisition de données expérimentales supplémentaires. En admettant que le modèle NG CANDU soit prêt à être commercialisé en 2005, il est essentiel que les codes clés d'analyse de sûreté et d'autorisation d'EACL soient homologués pour les conditions du réacteur NG CANDU avant cette échéance afin d'obtenir une déclaration d'admissibilité de la CCSN d'ici là.

Le Comité a appris que le Bureau de contrôle des modifications aux programmes de calcul (voir la section 7.5 du présent chapitre) évalue maintenant le domaine d'applicabilité des codes clés d'analyse de sûreté et d'autorisation au modèle NG CANDU et prescrit des plans pour les modifications nécessaires de ces codes conformément au *Guide d'assurance qualité*. Les étapes vitales suivantes sont l'identification des besoins de validation et la validation réelle de ces codes pour les conditions du réacteur NG CANDU, et notamment les recherches expérimentales nécessaires.

7.7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le Comité se demande si EACL disposera de suffisamment de spécialistes ayant l'expérience exigée pour s'assurer que les codes clés d'analyse de sûreté et d'autorisation peuvent être homologués d'ici décembre 2001, que les codes clés peuvent être homologués pour les conditions du réacteur NG CANDU selon les besoins et que les codes actifs restants sont homologués de façon opportune.

Recommandation 1

Le Comité recommande qu'EACL continue à se consacrer à la planification de la relève et applique cette méthode pour :

- ***étudier les besoins de spécialistes supplémentaires pour assurer que les codes de calcul clés d'analyse de sûreté et d'autorisation peuvent être homologués d'ici la date prévue et que d'autres codes peuvent être homologués de façon opportune;***

- ***prendre les mesures qui s'imposent pour recruter, former ou retenir de tels spécialistes.***

Comme on l'a vu à la section 7.3, le Comité réitère son appui inconditionnel à la méthode d'analyse de sûreté de la meilleure estimation plus incertitude appliquée par EACL. L'acceptation de cette méthode pour l'analyse de sûreté par la CCSN est indispensable pour l'autorisation des réacteurs CANDU à l'avenir. L'intention déclarée de la CCSN d'adopter une réglementation plus informée sur le risque (voir chapitre 6) devrait contribuer à faire accepter cette méthode, qui peut mesurer les marges de sûreté mieux que la méthode prudente antérieure.

Recommandation 2

Le Comité recommande qu'EACL travaille de concert avec la CCSN en vue d'accepter la méthode d'analyse de la meilleure estimation plus incertitude aux fins d'analyse de sûreté et d'autorisation.

Le Comité appuie fortement l'entente entre EACL et les producteurs d'électricité utilisant des réacteurs nucléaires relative à la création de la boîte à outils standard de l'industrie. Ces dispositions permettront d'éviter de répéter inutilement les efforts et de faciliter l'homologation des codes de calcul clés d'EACL aux fins d'analyse de sûreté et d'autorisation d'ici l'échéance prévue.

Recommandation 3

Le Comité recommande qu'EACL continue à travailler afin d'inclure les codes de calcul appropriés dans la boîte à outil standard de l'industrie et poursuive ses efforts pour homologuer les codes clés d'analyse de sûreté et d'autorisation avec le concours des producteurs d'électricité canadiens utilisant des réacteurs nucléaires.

Le Comité reconnaît qu'il est nécessaire de s'assurer que les activités d'homologation pour les codes clés d'EACL dans les conditions du réacteur NG CANDU sont bien indiquées et font l'objet d'une coordination adéquate entre les auteurs et les utilisateurs du code. En particulier on doit prescrire les recherches expérimentales nécessaires pour la validation du code dans les conditions du réacteur NG CANDU et on doit les entreprendre dès que possible. Ces travaux devraient faire partie intégrante du processus d'autorisation préalable pour le réacteur NG CANDU comme on l'a vu au chapitre 4.

Recommandation 4

Le Comité recommande qu'EACL intègre l'homologation de ses codes clés d'analyse de sûreté et d'autorisation pour les conditions du réacteur NG CANDU, et particulièrement les validations nécessaires pour ces conditions, dans le processus d'autorisation préalable recommandé par le Comité et qu'EACL entreprenne ce processus d'homologation dès que possible.

Le Comité appuie les mesures prises par EACL en fonction des recommandations du Comité dans son rapport de 1999 pour établir un programme et des mécanismes permettant d'informer les utilisateurs éventuels de l'existence du Centre de codes d'EACL, des services qu'il fournira et d'autres informations pertinentes. Le Comité demande avec instance à EACL de poursuivre ses efforts dans ce secteur, particulièrement en faisant connaître les services du Centre de codes aux universités et en les mettant à leur disposition.

Recommandation 5

Le Comité recommande qu'EACL poursuive ses efforts pour faire connaître l'existence et les services du Centre de codes d'EACL aux universités.

BIBLIOGRAPHIE

1. Sills, H.E., R.B. Duffey et T.H. Andres, *MAPLE Research Reactor Safety Margins Uncertainty Analysis Methodology*, Conférence annuelle de la SNC, Montréal, mai 1999.

2. Abdul-Razzak, A., *CANDU-9 Large LOCA Uncertainty Analysis*, janvier 1999.

3. Luxat, J.C., *Safety Analysis Technology : Evolution, Revolution and the Drive to Re-Establish Margins*, Société nucléaire canadienne, 21^{e} Conférence annuelle, Toronto, juin 2000.

CHAPITRE 8 : PROGRAMME DE RADIOBIOLOGIE ET DE RADIOPROTECTION

8.1 INTRODUCTION

Dans ses rapports précédents, le Comité a reconnu que le passage pour EACL du statut de laboratoire national à celui de fournisseur de réacteurs a été préjudiciable à certains programmes de recherche spécialisés qui étaient auparavant justifiés sous la rubrique du laboratoire national. La radiobiologie est un exemple d'un tel programme. Si EACL continue à nécessiter des travaux de R et D en biologie propre au projet, la justification historique du programme a satisfait des besoins plus vastes qu'uniquement ceux de l'industrie nucléaire. Dans ces rapports précédents, le Comité a reconnu qu'EACL n'avait plus le mandat ni la capacité financière d'appuyer un vaste programme de biologie et qu'il n'est plus dans l'intérêt du public qu'il en soit ainsi. L'entente provisoire en vertu de laquelle le programme a été transféré à la Direction générale de protection de la santé de Santé Canada est une étape importante dans le repositionnement de cette importante capacité de recherche (voir chapitre 3 de ce rapport).

La recherche en radiobiologie continue à être importante dans cinq secteurs, pour l'industrie de l'énergie nucléaire en général et pour EACL en particulier :

- Dans le soutien à la conception, à l'exploitation et au déclassement des réacteurs nucléaires où les réactions biologiques vis-à-vis du rayonnement ont été limitées. Ce niveau de biologie est largement générique à tous les types de réacteurs et est appuyé par les programmes de recherche nationaux financés par l'État. Aucun fournisseur de réacteurs n'appuie les programmes de biologie en vue de rechercher cette information.

- En ce qui a trait aux questions biologiques qui sont importantes pour la conception d'un réacteur, comme la possibilité qu'un travailleur soit exposé au ^{3}H et au ^{14}C dans les centrales CANDU. Ce financement devrait continuer à être assuré par EACL et le GPC.

- Exigences de comprendre les conséquences locales et éventuellement environnementales uniques du choix du site de chaque centrale. Il est vraisemblable que ce travail soit particulier au projet et que la responsabilité en revienne au producteur d'électricité.

- Réactions aux questions soulevées par les organismes de réglementation. La responsabilité de cette recherche peut varier et être partagée par les fournisseurs, les producteurs d'électricité, l'organisme de réglementation et par le financement public. Par exemple, la CCSN a récemment établi de nouvelles politiques environnementales, qui stipuleront que l'industrie acquiert une compréhension plus approfondie des conséquences radiologiques des installations nucléaires sur le biote autre qu'humain. À certains degrés, toutes les parties partagent un intérêt dans un sujet aussi complet que les retombées environnementales de la production d'énergie.

- La sécurité du public, l'élaboration de politiques, l'acquisition de nouvelles connaissances et les dividendes du partage interdisciplinaire de la recherche fondamentale. Les organismes de financement gouvernementaux et publics contrôlés professionnellement devraient en assumer la responsabilité du fait que cet intérêt est plus largement partagé par les organismes publics et le public.

8.2 GPC ET RADIOBIOLOGIE

En 1999, la CCEA (maintenant la CCSN) a demandé aux producteurs d'électricité canadiens utilisant des réacteurs nucléaires de lui confirmer qu'ils continueront à être capables de répondre à ses questions relativement à l'exploitation sûre de leurs installations avec la capacité à mener la R et D essentielle. La réponse de l'industrie figure dans un document du GPC (COG-00-59) *CANDU Research and Development Capability Review*, dans lequel on évalue le statut actuel et futur probable des programmes et installations de recherche dont elle dépend (voir chapitre 3 du présent rapport). Les auteurs reconnaissent qu'en ce qui a trait aux sciences biologiques, les intérêts des producteurs d'électricité empiètent sur ceux d'autres programmes nationaux et ils recommandent que l'on conserve un programme en sciences radiobiologiques sous la forme d'un Centre national des sciences radiologiques. Dans le présent document, on reconnaît également que le programme de radiobiologie aux LCR dans sa forme actuelle est en état de crise. On note également que les programmes de radioprotection et des sciences de l'environnement feront probablement face à une crise semblable d'ici trois ans. En ce qui a trait à tous ces programmes, on se préoccupe de ce que les chercheurs qui s'approchent de la retraite ne sont pas remplacés et de ce que la présence d'experts est insuffisante dans un certain nombre de domaines. On note les difficultés à attirer des étudiants diplômés dans ces secteurs ainsi que l'importance de la planification active de la relève. Ce problème préoccupe l'industrie nucléaire dans son ensemble et est examiné au chapitre 9 du présent rapport.

8.3 LE PROGRAMME DE RADIOBIOLOGIE DES LCR

Le Programme de biologie aux LCR a par le passé appuyé l'industrie nucléaire canadienne dans tous les secteurs notés à la section 8.1 ci-dessus. Les biologistes des LCR ont également participé activement à l'élaboration des normes relatives à la radioprotection et ont représenté le Canada à des forums internationaux. Ceci correspond à des réalisations importantes. Toutefois, le groupe a toujours été trop restreint pour pouvoir soutenir un programme de recherche complet comme ceux qui étaient entrepris dans de nombreux autres laboratoires nationaux. Les restrictions budgétaires ont empêché de recruter de nouveaux scientifiques. En outre, l'absence d'une politique pour appuyer la radiobiologie au Canada a retardé la restructuration et n'a pas permis de trouver d'autres sources de financement éventuelles. En même temps, les installations des LCR sont excellentes et on devrait les utiliser pour résoudre des questions qui restent importantes tant pour l'industrie que pour le pays.

Il n'existe aucune preuve directe qu'un être humain n'ait jamais subi des blessures dues à des faibles doses de rayonnement ionisant (<200 mSv). Le fond naturel de rayonnement ionisant varie de 1 à 70 mSv/an dans le monde entier et on n'a constaté aucune augmentation de l'incidence du cancer dans les régions à dose élevée. Toutefois, les effets de faible dose pourraient être importants s'ils augmentaient subtilement l'incidence de cancers ou les anomalies

congénitales dans les grandes populations. Donc, la question fondamentale irrésolue en radiobiologie actuelle porte sur les effets éventuels de l'exposition à de faibles doses de rayonnement ionisant. La résolution de cette question aura des effets profonds sur l'adhésion du public à l'industrie nucléaire, sur les politiques de réglementation et sur les domaines associés de la recherche.

Auparavant, les effets des doses plus élevées étaient évalués par expérimentation en laboratoire avec des animaux et des cultures cellulaires ainsi que par des études épidémiologiques de populations exposées. Ces études ont confirmé les effets nocifs des doses plus élevées, mais les erreurs inhérentes à toutes les méthodes ont empêché de résoudre les effets éventuels des faibles doses. L'incertitude persistante a forcé les organismes de réglementation à supposer la linéarité des effets de dose entre la dose zéro et les doses associées aux effets mesurables afin de s'assurer que la possibilité de nocivité pour les êtres humains est réduite au minimum.

Il est maintenant possible d'appliquer les nouvelles techniques de biologie moléculaire à ce problème et de déterminer si les dommages dus aux faibles doses de rayonnement sont toujours complètement réparés et comment différentes populations varient en fonction de cette capacité. Cette méthode de recherche déterminera s'il y a des doses et des débits de dose auxquels la radiolésion est complètement réparable et si les populations varient de façon importante en fonction de leur aptitude à effectuer ces réparations. Deux percées récentes en biologie moléculaire signalent son pouvoir de détecter et d'évaluer les événements cellulaires après le rayonnement. En premier lieu, le projet du génome humain est presque terminé. La carte génétique assurera que les gènes importants par lesquels les cellules réagissent au rayonnement sont identifiés. Deuxièmement, les techniques pour déterminer l'activité des gènes ont été considérablement améliorées. On peut maintenant isoler de très nombreux messages de transcription des gènes (ARN messager ou ARNm) dans une seule expérience. Ainsi, on peut détecter facilement et rapidement les modes de réponse et les quantifier. On peut effectuer des expériences dans lesquelles on modifie la dose et le temps. Il est même possible de séparer les événements qui dépendent de la lésion de l'ADN de ceux qui représentent la réponse ultérieure des cellules, y compris la réparation des dommages. Ces techniques moléculaires ne sont pas particulières à la radiobiologie. On les utilise plutôt de façon générale dans de nombreuses applications, particulièrement dans les universités et les instituts de recherche. La collaboration entre les radiobiologistes et les généticiens moléculaires pourrait faciliter grandement cette tâche.

Recommandation 1

Le Comité recommande que l'on fasse des efforts spéciaux pour élargir la collaboration entre les radiobiologistes aux LCR et leurs collègues dans les universités ou instituts de recherche.

Au début des années 90, EACL et ses partenaires du GPC ont construit le Centre des sciences biologiques CANDU aux LCR, qui demeure une excellente installation pour la recherche sur les effets de faible dose et de faible débit de dose. En raison des restrictions budgétaires, le potentiel inhérent aux installations du Centre des sciences biologiques CANDU pour aborder cette question importante n'est pas réalisé à fond.

Pour faire face à cette crise, les biologistes d'EACL ont préparé une proposition pour revitaliser

leur programme fondé sur le concept d'un Centre national des sciences radiologiques (CNSR), qui créerait des partenariats dans le Centre avec d'autres organismes gouvernementaux, universités et industries. Ainsi, ils demeureraient positionnés pour satisfaire les besoins particuliers du réacteur CANDU d'EACL et du GPC, pour chercher de nouveaux clients ayant d'autres besoins et pour concourir dans les programmes de financement revus par les pairs visant à appuyer les aspects fondamentaux essentiels de leur programme.

8.4 LE RÔLE DE SANTÉ CANADA DANS LE REPOSITIONNEMENT DE LA BIOLOGIE ET DE LA RADIOPROTECTION

Une étape pratique en vue de l'établissement du Centre national des sciences radiologiques a consisté en des discussions entre EACL et Santé Canada. Celles-ci ont débouché, il y a environ un an, sur un accord de principe selon lequel les programmes de radiobiologie et de radioprotection aux LCR devraient être transférés à la Direction générale de protection de la santé de Santé Canada. Le Comité a eu le plaisir d'apprendre qu'une entente provisoire a été conclue fin juillet pour transférer les programmes de R et D en radiobiologie et radioprotection ainsi que leurs installations associées aux LCR à la direction de Santé Canada. L'entente actuelle porte sur une période d'un an pendant lequel le concept du CNSR doit être élaboré et mis en oeuvre.

Selon cette entente, le personnel rattaché au service Radiobiologie et Radioprotection sera détaché à Santé Canada dans le cadre d'une entente d'échange EACL-Santé Canada. Grâce au financement de Santé Canada, les programmes en cours peuvent être poursuivis. Les contrats du GPC et autres travaux commerciaux se poursuivront également.

Le Comité est heureux que cette entente ait abouti. Nous prenons note qu'il s'agit d'une entente provisoire. Aussi, nous demandons avec instance aux deux parties de continuer à négocier un accord permanent qui satisfera les besoins d'EACL, du GPC, du CNSR ainsi que ceux du public.

8.5 RADIOBIOLOGIE POUR L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

Dans l'évaluation de ses ressources en R et D (COG-00-59), le GPC a reconnu la nécessité d'appuyer les capacités de mesure du rayonnement, pour comprendre leur importance pour les travailleurs et pour interpréter l'importance des effets du rayonnement pour le public avec une certaine crédibilité. Dans les centrales CANDU, une partie de la dose aux travailleurs provient de l'exposition au tritium et au carbone 14. Il est peu probable que l'on puisse obtenir la R et D nécessaire pour comprendre et pour limiter les expositions à ces isotopes par impartition ou par des programmes de recherche qui appuient les filières autres que le réacteur CANDU. Selon le GPC, de solides moyens continus sont également nécessaires en sciences environnementales pour appuyer la caractérisation, la réduction et la gestion des déchets provenant de l'exploitation des centrales, pour comprendre et réduire au minimum les effets sur l'environnement, pour répondre aux exigences de la CCSN et pour se conformer aux normes relatives à la protection environnementale. À plus long terme, ces capacités seront également nécessaires pour appuyer le prolongement de la vie utile des centrales et le déclassement.

Le Comité a constaté que l'on ne comprend pas bien au sein du GPC qu'elles sont ses exigences

au point de vue recherche radiobiologique, peut-être parce qu'autant de questions pressantes demandent la priorité. Ce manque de perspicacité peut être un reflet de la prévision à court terme qui a dominé au sein du GPC depuis 1996 quand son financement a été considérablement réduit. Les exploitants de centrales n'acceptent pas la responsabilité de prendre en charge la R et D à long terme qui est nécessaire pour comprendre les effets des faibles doses. On a noté que les LCR n'avaient apporté aucune contribution en radiobiologie dans l'Étude d'impact environnemental maintenant en cours à la centrale Pickering.

La position actuelle sur les sciences radiobiologiques prise par les producteurs d'électricité reflète un bon sens des affaires à court terme quand les ressources sont très limitées. D'un autre côté, on pourra se rendre compte dans l'avenir qu'elle a manqué de perspicacité. Le Comité a observé que les priorités à court terme qui ont été accordées par les producteurs d'électricité à la R et D au cours des cinq dernières années ont pu les priver des capacités suffisantes pour résoudre les problèmes qui continuent à surgir au fur et à mesure que les centrales vieillissent. À cet égard, l'absence d'un plan bien défini pour déterminer la place de la biologie dans l'exploitation des centrales nucléaires n'est qu'un exemple d'un problème plus important, c'est-à-dire celui de la planification à court terme plutôt qu'à long terme.

Recommandation 2

Le Comité recommande à EACL que la restructuration du programme prenne en compte équitablement ses intérêts à long terme continus et que ceux-ci fassent l'objet d'un plan stratégique avec un horizon de cinq à dix ans.

8.6 RADIOBIOLOGIE POUR LE CANADA

Le transfert de la responsabilité administrative du Programme des sciences des matériaux au Conseil national de recherches constitue une mesure prise par le passé que l'on devrait prendre pour le programme de biologie. L'intérêt national demande que l'on dispose d'un programme de recherche en radiobiologie pour permettre de protéger et d'informer le public, pour appuyer le transfert interdisciplinaire de technologie et pour continuer à participer à l'établissement des normes internationales pour la sûreté du public. Dans l'intérêt national, il sera préférable que la responsabilité des programmes de radiobiologie passe d'EACL à un organisme public.

Le modèle de Centre national des sciences radiologiques proposé fournira la souplesse dont ont besoin les scientifiques tout en permettant à EACL de répondre à ses besoins pour toute l'entreprise moyennant une contribution financière et s'il y a lieu, par le biais de recherches sous contrat.

Il est intéressant de comparer les orientations tout à fait différentes que les programmes de biologie à EACL et aux *American National Laboratories* ont prises en fonction des restrictions financières. Si les scientifiques canadiens ont dû limiter plus que jamais leurs champs de recherche autour des questions relatives au réacteur CANDU jusqu'à ce que la viabilité de l'entreprise isolée ne puisse plus être soutenue, les organismes américains de bien plus grande envergure ont été capables de diversifier leurs activités dans des secteurs intellectuellement connexes. Ils ont travaillé dans ce sens parce qu'il était reconnu que l'on pourrait utiliser les

outils de radiobiologie pour étudier tout un éventail de questions biologiques et environnementales. En procédant ainsi, ils ont attiré un nouveau financement et des nouveaux clients et ils demeurent un avantage productif pour leur nation. Ces anciens laboratoires de radiobiologie représentent maintenant des ressources nationales très diversifiées en biologie moléculaire, en études du génome et en sciences environnementales et médicales.

Le transfert du programme de biologie et de radioprotection à la Direction générale de la protection de la santé de Santé Canada est une étape provisoire vers l'élaboration du concept du CNSR et un pas en avant vers la revitalisation de la radiobiologie au Canada. Il est clair que les divers intervenants dans le Centre national des sciences radiologiques proposé auront des besoins en R et D tout à fait différents avec des calendriers totalement différents. L'établissement de plans stratégiques à long terme et opérationnels annuels présentera un défi qui répondra à une bonne partie des attentes. Les intervenants éventuels sont un groupe varié et comprennent EACL, la Direction générale de la protection de la santé de Santé Canada, les spécialistes en sciences biologiques basés aux LCR, le GPC, la CCSN, les chercheurs universitaires par le biais des Instituts canadiens de recherche en santé (ICRS) et éventuellement d'autres industries comprenant l'extraction et la transformation de l'uranium et d'autres. La mission et le plan stratégique du Centre doivent être élaborés avec soin afin d'inclure et d'équilibrer la diversité des intérêts. Il sera impossible aux quelques scientifiques actuellement aux LCR de répondre adéquatement à la variété d'intérêts des intervenants. Une vision ferme, un soutien financier accru et des ajouts au personnel actuel semblent être des exigences inévitables pour que le concept réussisse. Le contenu du programme de recherche doit à la fois satisfaire les besoins des intervenants et porter sur les questions d'actualité des sciences. Comme dans le cas américain, les liens interdisciplinaires peuvent être fortement revitalisants. La satisfaction des intervenants importants peut prendre du temps et nécessitera des ressources.

Recommandation 3

Le Comité a recommandé antérieurement le financement d'une chaire d'université en radiobiologie. Il semblerait opportun de l'obtenir dès maintenant pour aider à revigorer le programme dès que sa structure administrative sera renouvelée. À notre avis, le financement de 1 200 nouvelles chaires par le gouvernement fédéral offre une occasion de répondre à cette recommandation.

Recommandation 4

Le Comité recommande que le financement, la dotation en personnel et le programme scientifique du Centre national des sciences radiologiques soient entrepris en mettant l'accent sur la collaboration de sorte que tous les clients et participants éventuels aient l'assurance que leurs besoins sont bien pris en considération.

CHAPITRE 9 : RELATIONS AVEC LES UNIVERSITÉS

9.1 INTRODUCTION

Depuis sa mise en vigueur, le Comité a reconnu l'importance des liens d'EACL avec les universités. Ces liens procurent des avantages très importants, non seulement pour EACL et les universités, mais également pour l'industrie nucléaire. Certains des avantages qui découlent des liens d'EACL avec les université sont les suivants :

- EACL entretient des relations avec les jeunes gens, qui constituent le réservoir de talents en développement pour le recrutement et qui jouent également un rôle important en relations publiques.

- Les chercheurs à Chalk River se tiennent au courant des progrès extérieurs dans les aspects fondamentaux de la science et de l'ingénierie. Ceci permet à EACL de maintenir sa position en tant qu'organisme principal de R et D au Canada et à l'étranger, une situation qui est importante pour les clients éventuels.

- Les chercheurs universitaires dans les sujets associés au nucléaire sont capables d'apporter des solutions différentes, mais complémentaires aux problèmes techniques.

- L'étude de problèmes qu'EACL ne peut pas elle-même effectuer parce qu'elle manque de ressources peut être confiée sous contrat aux laboratoires universitaires.

Ces avantages ont eu une importance relative différente au cours des toutes dernières années parce que l'on met de plus en plus l'accent sur l'«ingénierie» et la «mise au point» par rapport à la «science» et à la «recherche». Le facteur le plus important de tous a été la réduction de moitié de la subvention parlementaire à EACL, qui a nécessité une diminution considérable de l'aspect «laboratoire national» des activités d'EACL. Un deuxième facteur important a porté sur la restructuration du Groupe des propriétaires de centrales CANDU (GPC) qui a également entraîné une réduction considérable de la quantité de R et D des GPC effectuée à EACL (et ailleurs au Canada). Un effet indirect de ces réductions et changements a été que le nombre d'étudiants de premier, de deuxième et de troisième cycles ainsi que les boursiers de recherche postdoctorale et professeurs, qui travaillent à EACL et ailleurs dans l'industrie a diminué avec le temps. Encore plus alarmante est la baisse des inscriptions des étudiants de premier, deuxième et troisième cycles aux cours universitaires associés au nucléaire, ce qui met en péril le rôle traditionnel des universités consistant à fournir à l'industrie nucléaire des diplômés de qualité pour répondre à ces préoccupations.

Le Comité a passé en revue les liens d'EACL avec les universités dans son rapport annuel de 1999. Entre-temps, le GPC a publié le résultat de son examen des capacités de R et D, comme on le signale au chapitre 3. Cette étude du GPC était axée sur la R et D associée à la sûreté, et devait répondre à des préoccupations réglementaires. Une conclusion importante de l'étude du GPC était qu'il est nécessaire d'améliorer les relations avec les universités canadiennes. Une recommandation importante aux membres du GPC était que l'on examine le programme de R et D nucléaire canadien pour s'assurer que l'on obtient le financement de façon ciblée et efficace afin

d'améliorer la collaboration entre les universités canadiennes et l'industrie. Comme on le mentionne au chapitre 3, section 3.2 du présent rapport, le Comité appuie fortement cette recommandation. Pour répondre à cette recommandation, un atelier du GPC a été tenu avec des professeurs d'université, comprenant des membres du Comité. Certaines conclusions de cet atelier sont données ci-après. Après avoir examiné les liens actuels d'EACL avec des universités (chaires d'université et contrats de recherche), nous faisons des recommandations particulières à EACL relativement aux initiatives universités-industries.

9.2 ENSEIGNEMENT EN GÉNIE NUCLÉAIRE DANS LES UNIVERSITÉS

Les très importantes réductions du financement de la R et D au Canada et du financement de la R et D du gouvernement et du GPC à EACL ont entraîné une situation critique dans la planification de la relève. De nombreux secteurs dans lesquels l'expérience est insuffisante ont été répertoriés dans l'examen des capacités de R et D du GPC. Toutefois, étant fondé sur les préoccupations réglementaires et les perspectives des producteurs d'électricité, le rapport du GPC sur les capacités de R et D n'a pas porté sur la disponibilité future de l'expérience nécessaire pour assurer la mise au point continue de la technologie CANDU, en majeure partie à EACL. Le Comité appuie fortement le point de vue selon lequel les programmes NG CANDU et CANDU X, tels qu'ils sont actuellement envisagés, sont des possibilités essentielles pour la mise au point de la technologie CANDU et pour l'avenir d'EACL. Une préoccupation importante du Comité est qu'un financement adéquat soit fourni pour la R et D de façon à atteindre les objectifs du programme. Le Comité se préoccupe également des difficultés éventuelles pour préserver l'expérience essentielle nécessaire en vue d'effectuer ces programmes de R et D à EACL.

Une raison de cette préoccupation est la situation grave que connaissent les universités relativement à l'inscription aux programmes d'études nucléaires. La détérioration de l'enseignement nucléaire au cours des dix dernières années a été documentée dans une étude récente de l'OCDE[12], qui indique que la tendance est mondiale. Le nombre de diplômes à teneur nucléaire délivrés dans les pays de l'OCDE a généralement baissé de 50 % au cours de la dernière décennie. En règle générale, la perception qu'ont les étudiants de l'industrie nucléaire est négative. La perception des étudiants est influencée par les circonstances de l'éducation, les perceptions du public, les niveaux d'activité de l'industrie et les programmes nucléaires subventionnés par le gouvernement. Dans la situation actuelle, le manque de construction de nouvelles centrales nucléaires, la privatisation et le faible appui du gouvernement donnent une image peu claire de l'avenir, les jeunes étudiants estimant que les débouchés sont rares et qu'il ne reste que peu de recherche intéressante à effectuer.

Il en résulte qu'il y a moins d'étudiants inscrits dans les universités pour faire des études portant sur le génie nucléaire, et spécialement des étudiants de haut niveau. Il y a maintenant moins de cours et de programmes portant sur la technologie nucléaire, aux niveaux du premier et du deuxième cycles, dans les facultés de génie et de sciences. C'est particulièrement le cas dans les secteurs comme la physique et la chimie nucléaires et la chimie des rayonnements, la radiobiologie, les matières nucléaires et le génie nucléaire (comprenant la physique du réacteur et la thermohydraulique). Le faible nombre d'inscriptions touche directement les budgets universitaires et les compressions budgétaires limitent alors les facultés et les installations disponibles pour les programmes nucléaires. Si l'on ne fait pas quelque chose pour l'arrêter, la spirale descendante se poursuivra. Et

[12] Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : Faut-il s'inquiéter?, Agence de l'énergie nucléaire, OCDE (2000)

comme l'étude de l'OCDE l'indique, «il n'y aura pas de solution miracle pour réinjecter dans le circuit des étudiants, des professeurs, des chercheurs, des exploitants d'installations, du personnel des autorités de sûreté, et l'infrastructure adéquate.»

Certains progrès ont été enregistrés dans plusieurs universités. Les exemples suivants de pratiques optimales ont été signalés dans l'étude de l'OCDE, tous visant à augmenter le nombre d'inscriptions :

- créer un intérêt préalable dans le domaine nucléaire, avec des publicités visant les candidats du premier cycle, des journées d'accueil aux installations de recherche, des visites d'étudiants, des communiqués de presse et des pages web, des manuels sur l'énergie nucléaire pour les professeurs, des cours d'introduction au génie nucléaire et des présentations faites par les membres de l'industrie et des instituts de recherche;
- ajouter des sujets nucléaires dans les cours de génie général;
- modifier le programme d'études des sciences nucléaires et de la technologie pour comprendre des cours avancés, pour élargir le programme et suivre le rythme de l'évolution des technologies nucléaires et pour créer des secteurs de recherche attrayants et intéressants pour les étudiants et satisfaire les besoins de l'industrie;
- augmenter les contacts pré-professionnels, par l'intermédiaire de la société nucléaire locale et les réseaux de «jeune génération»;
- offrir des bourses d'études, de recherche et des stages;
- renforcer les réseaux d'enseignement nucléaire.

Il y a de nombreux exemples de collaboration entre l'industrie et les milieux universitaires sous la forme de programmes internes, de cours donnés par les experts de l'industrie, de bourses de l'industrie et de chaires d'enseignement commanditées. La recherche coopérative est également répandue, comprenant des étudiants dans des secteurs nucléaires particuliers ainsi que dans des secteurs plus généraux importants pour l'industrie nucléaire. Bien qu'il y ait tout un éventail d'initiatives pour encourager la jeune génération, celles-ci varient considérablement d'un pays à l'autre. Elles sont souvent prises par des personnes plutôt que par des organismes et il y a très peu d'initiatives nationales cohérentes. Le rapport de l'OCDE conclut par une série de recommandations visant à augmenter le rôle stratégique des gouvernements, et notamment les aspects de l'enseignement, de la main-d'œuvre et de l'infrastructure, à revitaliser l'enseignement nucléaire et à accroître la collaboration entre les industries et les universités.

Aussi, quelle est la situation au Canada? Il y a peu de programmes de génie nucléaire au Canada et la plupart ont été touchés par une réduction du financement aux universités par les gouvernements provinciaux. Ils ont également connu un déclin des inscriptions[13] bien plus grave que le déclin général des programmes de deuxième et troisième cycles. L'inscription des étudiants aux cours des sciences et de génie nucléaires canadiens a maintenant atteint des niveaux sous-critiques, avec une participation insuffisante pour que certains cours soient offerts. En outre, avec des cours d'initiation au domaine nucléaire insuffisants au niveau du premier cycle, la grande majorité des diplômés des facultés canadiennes n'a aucune connaissance ou compréhension de la technologie associée à

[13] Un exemple est donné par le programme de génie nucléaire à l'École Polytechnique, qui a toujours maintenu un nombre de 20 et 30 étudiants de deuxième et troisième cycles entre 1980 et 1995. Les inscriptions actuelles sont réduites de moitié.

l'industrie nucléaire.

Comme l'étude de l'OCDE l'indique, cette situation grave est répandue. Elle met en péril la capacité d'EACL à recruter de la main-d'œuvre qualifiée pour les programmes de R et D futurs, même en recrutant à l'étranger. L'enseignement, le recrutement et le maintien de jeunes ingénieurs et scientifiques pour des carrières dans l'industrie nucléaire sont essentiels à sa survie. De toute évidence, les universités doivent jouer un rôle essentiel en fournissant des diplômés de qualité qui répondront aux préoccupations existantes et à la mise au point d'une nouvelle technologie. C'est précisément ce que l'étude de capacité de R et D du GPC reconnaît en faisant sa recommandation sur les relations avec les universités.

9.3 ATELIER DU GPC ET INITIATIVES UNIVERSITÉS-INDUSTRIE

La recommandation du GPC sur les relations avec les universités sous-entend que ces dernières devraient jouer un rôle plus important en vue d'assurer la capacité de R et D future. Le Comité appuie ce point de vue. À la suite de la publication du rapport du GPC, les membres du Comité ont participé avec d'autres professeurs d'université à un atelier organisé par le GPC pour étudier spécialement les recommandations du rapport en ce qui a trait aux relations des producteurs d'électricité avec les universités, pour développer des sujets relatifs à ces relations et pour prendre des mesures. Un certain nombre de questions ont été soulevées :

- la mauvaise perception de l'industrie et de l'énergie nucléaires par les étudiants (comme l'indique l'étude de l'OCDE);
- le peu d'importance et l'éloignement des programmes nucléaires au Canada;
- l'absence d'un engagement financier à long terme, par exemple, le besoin d'investissement à long terme du gouvernement comme le CCN pour attirer des étudiants ainsi que les universités au programme nucléaire canadien;
- une mauvaise compréhension par les producteurs d'électricité et l'industrie de l'échelle de temps nécessaire pour produire de bons étudiants du deuxième et troisième cycles et de la nécessité d'effectuer des travaux de R et D non exclusifs (c.-à-d. publiables) dans les universités.

Des solutions possibles dont un grand nombre ont été classées dans la section précédente comme étant des pratiques optimales par l'OCDE ont été recommandées. Les dispositions actuelles ont été examinées et diverses options ont fait l'objet de recherches pour maintenir les programmes nucléaires dans les universités canadiennes :

- la possibilité de créer un programme nucléaire unifié ou des programmes conjoints tout en prenant en compte la possibilité du télé-enseignement;
- un financement ciblé et efficace pour les programmes universitaires et pour les programmes de R et D des universités, et comprenant un examen du processus du GPC pour le financement de R et D;
- l'éducation permanente d'ingénieurs et de scientifiques, particulièrement des recrues provenant de disciplines comme le génie mécanique, le génie chimique, le génie électrique et le génie informatique qui ont reçu peu de formation, voire aucune, dans le domaine nucléaire;

- une part plus active d'EACL et des producteurs d'électricité pour promouvoir et embaucher des étudiants, offrir des bourses et un soutien à temps plein aux employés, commanditer plus de chaires d'enseignement et fournir la documentation pour les cours donnés par les professeurs.

Les deux questions principales soulevées à l'atelier GPC-université étaient clairement la nécessité de coordonner l'interface producteurs d'électricité-EACL avec les universités, particulièrement en ce qui a trait au programme de R et D du GPC, et la nécessité de coordonner les capacités des universités canadiennes pour offrir des cours associés à l'énergie nucléaire.

En ce qui a trait à ces deux questions, les propositions suivantes ont été faites aux partenaires du GPC :

- Quatre comités techniques du GPC établissent les programmes de R et D dans des secteurs particuliers. On propose d'établir un cinquième comité technique du GPC intitulé «Programmes universitaires». Ce comité technique assumerait la responsabilité coordonnée producteurs d'électricité-EACL d'allouer une partie du financement du programme de R et D du GPC spécialement pour traiter de la question de conserver les capacités de R et D au niveau universitaire et de fournir des fonds (en plus de ceux qui pourraient être dépensés directement par les producteurs d'électricité et EACL) pour s'assurer que l'on dispose d'un nombre suffisant d'ingénieurs diplômés ou de scientifiques afin de satisfaire les besoins des producteurs d'électricité-EACL.

- Le financement EACL-producteurs d'électricité d'une ou deux personnes pour faire fonctionner une université nucléaire virtuelle (UNV). L'UNV serait un bureau central ou un service qui coordonnerait les capacités de l'université à donner des cours relatifs aux besoins de l'industrie. Elle assurerait la responsabilité de réduire au minimum les chevauchements et d'encourager la création de moyens dans les secteurs qui en ont besoin. Le personnel surveillerait alors les besoins de l'industrie et les capacités des universités. Il se ferait également le champion d'idées pour créer de nouvelles capacités et utiliser différemment les capacités existantes de façon à permettre de satisfaire les besoins de l'industrie.

Le Comité appuie vivement la proposition d'un cinquième comité technique dans le GPC, dans la mesure où le financement approprié est fourni (10 % du financement total de la R et D du GPC sembleraient raisonnables). Le Comité recommande qu'EACL, en tant que partenaire du GPC, appuie cette proposition. L'affectation par l'industrie d'une petite partie du financement de R et D aux universités ne doit pas être considérée comme de la charité ou comme de la concurrence à d'autres fournisseurs de R et D. Cela semble tout simplement logique en raison de l'urgence des questions de relève. C'est pourquoi il est important de s'assurer que la majeure partie de la R et D financée par le GPC menée dans les universités vise les étudiants diplômés et que le financement est fourni de façon opportune pour les étudiants. Un grand nombre de projets financés par le cinquième comité pourraient être des projets de maîtrise et de doctorat réalisés dans les universités canadiennes ou dans les laboratoires industriels.

Quant à la deuxième proposition, un titre plus approprié pour l'UNV serait l'Institut nucléaire

virtuel (INV). Un bon exemple du développement et du partage des ressources d'enseignement qu'INV favoriserait est le matériel pédagogique préparé par G. Bereznai pendant sa titularisation à la chaire de génie nucléaire de l'université Chulalongkorn en Thaïlande. Le Comité croit comprendre que ce matériel sera utilisé à l'université McMaster dans son programme de diplôme en technologie nucléaire.

En dehors de ces lignes de conduite, une autre initiative importante, appelée Programme de documentation CANTEACH a été proposée récemment par EACL. Avec la participation de partenaires de l'industrie, du gouvernement et des universités, l'objectif est de créer un ensemble complet de documents d'enseignement et de formation établis conformément aux normes d'enseignement les plus rigoureuses pour décrire les divers aspects de la technologie des centrales CANDU. La documentation imprimée et électronique peut être partagée parmi les partenaires pour servir de matériel à toute une variété de cours à divers niveaux d'enseignement et de formation, y compris des cours de niveau universitaire avec une méthode plus fondamentale. Par conséquent, le programme CANTEACH est un programme de documentation et non un programme d'enseignement en soi. Le Comité reconnaît l'importance stratégique de CANTEACH et est très favorable à ce programme. Le Comité recommande qu'EACL continue à rechercher des options de financement avec ses partenaires, les producteurs d'électricité.

D'autres secteurs industriels ont établi ou établissent des programmes d'enseignement spéciaux pour satisfaire leurs besoins au point de vue compétences. Par exemple, le Conseil national de recherches, l'Université d'Ottawa et l'université Carleton ont créé un organisme indépendant connu sous le nom Vitesse (Recyclage professionnel) Canada Inc. pour augmenter les effectifs de ressources humaines des industries fondées sur les connaissances et pour recycler et réoutiller les diplômés ayant des compétences traditionnelles qui souhaitent changer de carrière pour l'industrie fondée sur les connaissances. Au départ, ce programme d'enseignement était subventionné par une seule entreprise. À la phase deux il y avait sept sociétés participantes et à la phase trois il y en avait neuf, plus un autre partenaire d'enseignement : l'Université du Québec à Hull. Cette méthode d'enseignement est étendue à d'autres secteurs (optoélectronique, bio-informatique).

C'est une parmi plusieurs initiatives d'enseignement qui mérite d'être prise en compte par l'industrie nucléaire quand elle est en concurrence avec d'autres secteurs pour embaucher et retenir de jeunes ingénieurs et scientifiques. Un autre exemple récent est la formation par les universités de Toronto et de Waterloo ainsi que les universités Western Ontario et McMaster d'un institut de conception et de fabrication avancées : ADMI. La première responsabilité de cet institut est de mettre sur pied un programme modulaire de maîtrise en conception technique et fabrication. Chaque cours sera présenté dans un ensemble de deux modules de quatre jours. Chaque module comprend quelque 30 heures de cours, des discussions et des travaux d'application. Les deux modules de quatre jours sont séparés d'environ six semaines pour faciliter le processus d'enseignement et pour donner suffisamment de temps pour effectuer les ajustements. Chaque cours sera donné par un ou plusieurs professeurs des universités partenaires avec une collaboration d'enseignement importante des experts industriels. Un programme semblable sur la fabrication et la gestion à l'université de Warwick au Royaume-Uni, a été bien appuyé par l'industrie et a été couronné de succès. Comme dans le cas du programme Vitèsse, le

succès du programme de Warwick s'est articulé autour du soutien de l'industrie, tant au point de vue financier que de celui de l'enseignement.

9.4 EXAMEN DES LIENS EACL-UNIVERSITÉS

EACL a eu de nombreux liens avec les universités. Ceux-ci ont été examinés dans les rapports antérieurs du Comité et seront étudiés à nouveau avec la perspective supplémentaire des questions de relève soulevées plus tôt. Comme on l'a mentionné auparavant, l'enseignement, le recrutement et le maintien de jeunes ingénieurs et scientifiques pour des carrières dans l'industrie nucléaire dépendent des investissements faits par l'industrie dans les programmes décrits.

9.4.1 Chaires d'universités

EACL a l'habitude depuis longtemps d'appuyer des postes de recherche principaux dans les universités canadiennes, les premiers exemples étant des nominations en science des matériaux à l'université Western Ontario au cours des années 80, quand les activités en science des matériaux d'EACL ont été réduites et que le personnel de Chalk River y a été muté. Plus récemment, la chaire Bertram Brockhouse à établie à l'université McMaster en 1998 après qu'EACL ait fait un versement unique en 1996.

9.4.1.1 Chaires de recherche industrielle CRSNG

Un aspect important de l'appui aux chaires d'université est que l'on peut souvent obtenir des financements équivalents provenant d'autres intervenants industriels et, par l'intermédiaire du CRSNG, du gouvernement fédéral. En général, quand EACL contribue à une chaire de recherche industrielle CRSNG, un ou plusieurs partenaires industriels versent l'équivalent et le CRSNG met l'équivalent du total. En fournissant les capitaux de lancement et autre soutien approprié, EACL est capable de favoriser le développement de certains sujets de recherches et spécialisations. Ainsi, des types d'expérience, qui sinon feraient défaut peuvent être favorisés. L'engagement initial vis-à-vis d'une chaire de recherche industrielle est pris pour cinq ans et l'université s'engage à ce que la chaire devienne permanente. Une fois que le titulaire est nommé à une chaire de recherche industrielle et que l'infrastructure et l'équipement sont mis en place, les étudiants diplômés, les boursiers du niveau postdoctoral, les professeurs invités, etc., parviennent à participer à la recherche du groupe.

Une chaire de recherche industrielle peut être renouvelée pour cinq ans supplémentaires, mais les règles de financement du CRSNG pour le deuxième mandat sont différentes étant donné que seul le salaire du titulaire pris en charge progressivement par l'université qui paie plus chaque mois peut être subventionné par le CRSNG. Les activités de recherche sont alors subventionnées par d'autres mécanismes du CRSNG comme une subvention de recherche à incidence industrielle, pour laquelle le titulaire doit faire une demande en concurrence avec d'autres demandeurs.

L'expérience qu'a acquise EACL avec les chaires de recherche industrielle (CRI) a été examinée dans le rapport de l'an dernier et n'est résumée que brièvement ici.

- CRI en génie nucléaire, Université du Nouveau-Brunswick

Cette chaire a été établie en partenariat avec Énergie Nouveau-Brunswick en 1984, renouvelée en 1989 et close en 1991, quand le titulaire, D. Meneley, est devenu ingénieur en chef d'EACL à Sheridan Park.

- CRI en génie nucléaire, Université du Nouveau-Brunswick

Le bénéficiaire, D.H. Lister, est membre de ce Comité et étudie les problèmes de corrosion et de transport de masse dans les circuits de refroidissement du réacteur. Les bonnes relations entre cette chaire, le Centre de recherche de l'énergie nucléaire à cette université et le personnel de la centrale CANDU 6 de Pointe Lepreau étaient très évidentes quand le Comité a visité la centrale en septembre 2000.

- CRI en génie nucléaire, université de Toronto

Cette chaire a été établie en partenariat avec Ontario Hydro en 1989, renouvelée en 1994 et close en 1999. Le titulaire de cette chaire, B. Cox, a fait de la recherche sur la corrosion et l'hydruration du zirconium et de ses alliages. Il est maintenant à la retraite.

- CRI en mécanique appliquée, École Polytechnique

Cette chaire a été approuvée par le CRSNG en décembre 1999, avec B&W Canada et EACL comme partenaires industriels. Le titulaire de la chaire, le professeur Michel Pettigrew, a de l'expérience dans le secteur de la vibration due à l'écoulement, qui peut être un phénomène limitant la vie utile des composants des réacteurs CANDU comme les échangeurs de chaleur et les générateurs de vapeur. La recherche devrait assurer un appui scientifique sous-jacent pour les travaux plus appliqués effectués à EACL. On espère également que la nomination contribue à renforcer la composante nucléaire des programmes de génie du premier cycle à l'École Polytechnique et débouche sur la formation ultérieure des étudiants au cycle supérieur et des chercheurs postdoctoraux dans le secteur du génie nucléaire.

- Secteurs dans lesquels la R et D est nécessaire

Dans son rapport de 1999, le Comité a recommandé le financement d'une chaire en radiobiologie et a étudié plus récemment la nécessité d'une chaire en métallurgie nucléaire, qui s'intéresserait spécialement aux alliages de zirconium. Le Comité recommande qu'EACL et ses partenaires industriels dans le GPC déterminent s'il y a des possibilités d'aider à établir des chaires de recherche industrielle du CRSNG financées conjointement, du type décrit précédemment. On a également la possibilité d'aider les universités à établir des chaires de recherche au Canada, particulièrement de deuxième catégorie comme on le verra à la section suivante, en génie nucléaire et en sciences nucléaires et science du rayonnement.

9.4.1.2 Chaires de recherche du Canada

Une initiative du millénaire du gouvernement fédéral est le programme des Chaires de recherche Canada (CRC), qui offrira un soutien au point de vue recherche et salaire pour des chercheurs hors pair, à compter de l'exercice financier 2000-2001. Il devrait y avoir 2 000 chaires en 2004-2005 (Interconseil et Fondation canadienne pour l'innovation, avril 2000).

Les chaires CRC seront établies dans les secteurs prioritaires déterminés par les universités dans leurs plans de recherche stratégique. On attribue des chaires de recherche à une université si celle-ci est déjà parvenue à obtenir du financement des conseils octroyant des subventions. Il y aura deux types de chaires : des chaires de premier niveau renouvelables tous les sept ans qui attireront les étoiles de la recherche actuelle, c'est-à-dire des personnes d'expérience reconnues par leurs pairs comme les chefs de file mondiaux dans leur domaine de recherche, des chaires de deuxième niveau de cinq ans, renouvelables une fois, qui attireront les étoiles de recherche futures, c'est-à-dire celles qui sont reconnues par leurs pairs comme ayant le potentiel de diriger leur domaine de recherche.

Pour chaque chaire de premier niveau, l'université recevra 200 000 $ de subvention par an pendant sept ans. Pour chaque chaire de deuxième niveau, l'université recevra 100 000 $ de subvention par an pendant cinq ans.

Bien qu'EACL et ses partenaires industriels dans le GPC ne contribueraient pas directement à ces chaires (contrairement aux chaires industrielles du CRSNG), ils seraient susceptibles d'influer sur leur formation en offrant des fonds de fonctionnement pour appuyer les chaires appropriées. Toutefois, l'option du CRSNG devrait être la méthode la plus efficace, étant donné que les Chaires de recherche Canada seront établies dans des zones prioritaires indiquées par les universités elles-mêmes.

9.4.2 Autres chaires industrielles

Un exemple de soutien spécial à l'industrie pour un programme de génie nucléaire dans une université canadienne est donné par la chaire d'Hydro-Québec en génie nucléaire à l'École Polytechnique. Cette chaire a été créée en 1988 et a été renouvelée deux fois pour appuyer de façon continue la recherche et les programmes universitaires à l'Institut de génie nucléaire. Un programme de bourse est également offert aux étudiants. Le titulaire de la chaire, D. Rozon, est membre de ce Comité.

La chaire d'Hydro-Québec est en grande partie responsable de l'existence d'un programme de génie nucléaire important à l'École Polytechnique, avec plus de 10 cours du niveau supérieur offerts dans des programmes de doctorat et de maîtrise, une installation de thermohydraulique à petite échelle et un réacteur SLOWPOKE qui vient d'être rechargé en combustible. Si le financement de la chaire d'HQ représentait 20 % du budget de l'Institut de génie nucléaire au cours de la période allant de 1990 à 1995, il représente maintenant près de 45 % en raison de la baisse d'inscriptions des étudiants et de la réduction du financement universitaire. On doit noter qu'une partie importante des fonds de recherche de la chaire a été utilisée par le passé pour

supporter le GAN (Groupe d'analyse nucléaire) qui se spécialise dans la physique des réacteurs de calcul. La contribution la plus importante de ce groupe à l'industrie nucléaire est la production du code DRAGON, qui est maintenant largement utilisé par EACL et les producteurs d'électricité pour modéliser avec précision les mécanismes de réactivité du réacteur CANDU. DRAGON est maintenant considéré comme un des trois codes de la boîte à outils standard de l'industrie en physique du cœur du réacteur à utiliser dans les études d'autorisation.

Bien que le renouvellement de la chaire d'HQ soit essentiel à la poursuite du programme de génie nucléaire à l'École Polytechnique, le problème d'inscription des étudiants est crucial. Comme on l'a déjà mentionné, ce problème est endémique et une initiative nationale est probablement indiquée.

9.4.3 Chaires de génie nucléaire à l'étranger

Les interactions avec les universités étrangères, comprenant l'établissement de chaires de génie nucléaire, sont, et continuent d'être une activité importante d'EACL. Une chaire en génie nucléaire à l'Institut de génie avancé à Yongin en Corée a été subventionnée par EACL de 1993 à 1999.

Comme l'a signalé le Comité dans son rapport annuel de 1999, EACL en partenariat avec l'Autorité de production d'électricité de la Thaïlande et l'Agence canadienne de développement industriel, a établi une chaire de génie nucléaire à l'université Chulalongkorn à Bangkok. Bien que ce projet de l'ACDI ait pris fin en mars 2000, EACL a continué de financer le titulaire de la chaire pour l'exercice financier 2000-2001 avec des responsabilités plus étendues, et notamment des cours aux universités d'Indonésie, des Philippines, du Vietnam et de Chine.

Un cours général sur le réacteur CANDU est tout particulièrement intéressant. Élaboré à l'origine pour la Thaïlande, il est donné dans trois universités en Chine, en utilisant le système de télé-enseignement multimédia interactif et l'Internet.

Une autre initiative d'EACL en 2000 relative à l'enseignement en Chine a été la signature d'un accord de collaboration entre EACL, *le Shanghai Nuclear Engineering Research and Development Institute* (SNERDI) et l'université Jiaotong de Shanghai portant sur l'établissement d'un Institut de technologie des réacteurs avancés (InART). Cet Institut a été établi pour étudier les technologies et les modèles de circuit pour les réacteurs à eau lourde avancés et pour former le personnel technique et scientifique. Cet Institut comprendra ultérieurement d'autres universités et groupes.

Le Comité recommande qu'EACL favorise les accords d'échange entre l'InART et les universités au Canada.

9.4.4 Contrats de recherche avec les universités

EACL passe des contrats de recherche importants avec les universités. Une liste de ces contrats a été donnée dans le rapport de 1999 du Comité. De nombreux étudiants diplômés au niveau supérieur ont également préparé des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat sur des sujets associés au nucléaire. Un grand nombre de ces étudiants a trouvé un emploi par la suite dans des

E3

agences qui ont à faire à l'énergie nucléaire. En ce qui a trait aux commentaires relatifs à la planification de la relève dans les sections précédentes, le Comité recommande qu'EACL poursuive cette pratique.

Les contrats sont non seulement un moyen rentable de faire de la recherche et de donner des renseignements importants à EACL, ils jouent également un rôle essentiel dans l'amélioration des connaissances générales de la technologie CANDU et de l'importance de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité et autres applications. Par conséquent, les contractants universitaires devraient être considérés comme des partenaires et non comme des concurrents, dans l'atteinte des objectifs scientifiques et techniques particuliers.

Au chapitre 3, section 3.2, on étudie la proposition selon laquelle le GPC établit un cinquième comité technique pour les «programmes universitaires». L'objet de ces dispositions est d'offrir un réservoir de diplômés disponibles pour entrer dans l'industrie et également pour fournir des moyens (université) afin d'assurer des services de R et D directement au programme (GPC). La recommandation 4.2.4 de l'examen des capacités de R et D du GPC [1], qui recommande le financement en vue d'une collaboration améliorée entre les universités et l'industrie, est suivie de la déclaration que ceci doit être réalisé d'une façon qui assure, dans la mesure du possible, que des postes appropriés et stimulants sont offerts dans l'industrie pour les diplômés et que les services offerts par les universités correspondent aux besoins de l'industrie et ne se recoupent pas avec les moyens d'autres prestataires de services de R et D.

Le Comité est préoccupé de ce que ces trois dernières mises en garde découlent d'une opinion selon laquelle les contractants universitaires sont simplement en concurrence avec d'autres prestataires de services de R et D. Comme on l'a mentionné précédemment, les contractants universitaires devraient être considérés comme des partenaires dans l'atteinte des objectifs de R et D particuliers. Les chevauchements des capacités sont inévitables et bénéfiques. Ils assurent que l'industrie, y compris la CCSN ont accès à des conseils indépendants au Canada et mettent également à la disposition des étudiants du deuxième et troisième cycles des personnes ressources de l'industrie, qui devraient participer et participent en fait comme cosurveillants.

9.4.5 Étudiants aux laboratoires d'EACL

EACL a l'habitude depuis longtemps d'accueillir des étudiants du premier, du deuxième et du troisième cycles à ses laboratoires. En plus des travaux utiles qu'ils exécutaient, leur participation aux programmes d'EACL a également constitué un élément important des relations publiques, puisqu'elle a servi à mieux comprendre les aspects scientifiques et techniques de l'énergie nucléaire. Les étudiants ont donc joué un rôle dans la promotion de l'acceptation par le public de la production d'énergie nucléaire en tant qu'option politique.

Toutefois, ces dernières années, on a connu une baisse des emplois d'étudiants par EACL. En raison des préoccupations sur la disponibilité future des diplômés et des avantages importants de leur recrutement qui s'accroissent en offrant des emplois d'été et autres (p. ex., coop) à EACL, le Comité recommande que plus d'emplois soient mis à la disposition des étudiants d'université. C'est dans les secteurs «manquant d'expérience» que l'on devrait tout particulièrement parrainer des étudiants.

9.5 RECOMMANDATIONS

Recommandation 1

Le Comité recommande qu'EACL continue à appuyer la création de chaires d'université pour parfaire les aspects particuliers de la mise au point des réacteurs CANDU, pour prêter main-forte dans les activités de commercialisation et pour contribuer à maintenir l'expérience canadienne dans les secteurs intéressant tout particulièrement EACL. Une chaire qui a une haute priorité est celle qui a été proposée antérieurement pour la radiobiologie. Une deuxième devrait être axée sur la métallurgie nucléaire, un secteur des plus spécialisés qui présente une certaine importance pour EACL, mais qui n'est pas traité de façon adéquate dans les universités canadiennes. Si les chaires du CRSNG sont probablement de la plus grande utilité, EACL pourrait également bénéficier du nouveau financement du gouvernement fédéral portant sur 2 000 chaires de recherche en offrant un financement de fonctionnement aux chaires appropriées de certaines universités.

Recommandation 2

Le Comité recommande qu'EACL augmente le nombre d'emplois pour les étudiants d'université, non seulement en sciences fondamentales mais également dans des secteurs d'ingénierie. Les secteurs ayant un manque d'expérience devraient être favorisés, particulièrement dans le cas des étudiants des deuxième et troisième cycles. EACL devrait également augmenter sa participation aux programmes coopératifs dans les facultés de génie canadiennes.

Recommandation 3

Le Comité recommande qu'EACL appuie l'initiative de créer un cinquième comité technique du GPC ou l'équivalent, pour coordonner les projets de R et D aux universités, avec une attribution particulière du financement de R et D.

Recommandation 4

Le Comité recommande qu'EACL continue à appuyer le Programme de documentation CANTEACH en collaboration avec les universités.

BIBLIOGRAPHIE

1. Groupe des propriétaires de centrales CANDU, *CANDU Research and Development Capability Review (R1)*, Rapport COG-01-204, mars 2000.

ANNEXE A : MANDAT DU COMITÉ DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT AU CONSEIL D'ADMINISTRATION D'ÉNERGIE ATOMIQUE DU CANADA LIMITÉE

1. MANDAT

Le Comité consultatif de recherche et développement conseille le Conseil d'administration d'EACL sur les besoins, les alliances et l'orientation stratégiques des programmes de recherche et développement (R et D) d'EACL. Le Comité indique au Conseil d'administration si ces programmes ont ou n'ont pas l'envergure et les éléments nécessaires. De plus, il permet d'établir l'équilibre approprié entre les activités à court et à long terme venant appuyer le programme électronucléaire [illegible]ada, sur le plan tant national qu'international.

2. ATTRIBUTIONS ET RESPONSABILITÉS

Pour s'acquitter de son mandat, le Comité consultatif de recherche et développement assume les fonctions et les responsabilités spécifiques suivantes :

- Le Comité se réunit au moins trois fois au cours de chaque exercice financier d'EACL afin de revoir la totalité des activités de R et D d'EACL, ainsi que le fonctionnement de ses principaux établissements de recherche. Le Comité doit présenter des rapports de façon périodique au Conseil d'administration d'EACL, et notamment un rapport annuel sur la qualité, la pertinence et l'envergure relative des programmes de R et D, ainsi que sur la nécessité d'en réorienter la portée, les ressources et les priorités.
- Les représentants du Comité assistent aux réunions du Comité des sciences et de la technologie du Conseil, donnent leur avis et présentent, le cas échéant, des rapports confidentiels.
- Le Comité rencontre périodiquement le personnel d'Étude des produits et du Marketing d'EACL afin d'obtenir leurs vues sur les programmes de R et D.
- Le Comité rencontre périodiquement les représentants des producteurs d'électricité canadiens en vue de discuter de leurs besoins afin d'en rendre compte au Conseil d'administration.
- Dans son étude et son rapport sur la collaboration nationale et internationale existante et proposée, le Comité évalue également les relations actuelles et éventuelles d'EACL avec les universités canadiennes, les établissements post-secondaires et les organismes des secteurs public et privé effectuant des travaux de recherche sur l'énergie nucléaire au Canada.
- Les membres du Comité peuvent, après consultation appropriée avec EACL, comparaître devant des conseils, commissions ou comités dûment constitués des gouvernements fédéral ou provinciaux afin de présenter leur vue sur toutes les questions pertinentes du mandat du Comité.

ANNEXE B : MEMBRES DU COMITÉ

D.A. (David) Armstrong, B. Sc., Ph. D.
Professeur, Département de chimie
Université de Calgary
2500, promenade University N.O.
Calgary (Alberta) T2N 1N4

R.L. (Robin) Armstrong, B. Sc., Ph. D.
Professeur émérite
Département de physique
Université de Toronto
60, rue George
Toronto (Ontario) M5S 1A1

D.J. (David) Burns, B. Sc., Ph. D., FASME, ing.
Professeur de génie mécanique
Université de Waterloo
Waterloo (Ontario) N6A 3G1
(président 2000)

A.A. (Albert) Driedger, M. D., Ph. D., FRCPC (méd. et génie nucl.), FACP, FACPE
Faculté de médecine nucléaire
London Health Sciences Centre
800, ch. Commissioners est
London (Ontario) N6A 4G5

J. (Jon) Jennekens, O. C., FCAE, B. Sc., ing.
Jonor & Associates
1815, promenade Dorset
Ottawa (Ontario) KlH 5T7

J.J. (John) Jonas, O. C., C. Q., MSRC, FASM, FCIM, FCAE, Ph. D., ing.
Titulaire de la chaire Birks de métallurgie et codirecteur,
Centre de transformation des métaux McGill
Département de génie minier et métallurgique
Université McGill
3610, rue Université
Montréal (Québec) H3A 2B2

D.H. (Derek) Lister, B. Sc., M. Sc., Ph. D., C. Eng
Président, Génie nucléaire
Université du Nouveau-Brunswick
C.P. 4400
Fredericton (Nouveau-Brunswick) E3B 5A3

E.A. (Ernest) McCulloch, O. C., M. D., FRCP(C), MSRC, MSR
Scientifique émérite principal
Institut du cancer de l'Ontario
Princess Margaret Hospital
610, avenue University, Toronto (Ontario) M5G 2M

G.G. (Gilles) Patry, B. Ing., M. Ing., Ph. D., ing.
Vice-recteur (études)
Université d'Ottawa
50, avenue Cumberland
Ottawa (Ontario) K1N 6N5

J.T. (Terry) Rogers, B. Ing., M. Ing., Ph. D., ing.
Professeur émérite
Département de génie mécanique et aérospatial
Université Carleton
1125, promenade Colonel By
Ottawa (Ontario) K1S 5B6

D. (Daniel) Rozon, B. A., B. Sc. A., M. Sc. A., Ph. D., FCNS, ing.
Professeur de génie nucléaire
Département de génie physique
École Polytechnique de Montréal
Montréal (Québec) H3C 3A7

ANNEXE C : PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

RAPPORTS

- Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 1999
- Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 1998
- Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 1997
- Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 1996
- Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 1995
- Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 1994
- Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 1993
- Rapport du Comité consultatif de recherche et développement d'EACL pour 1992

COMMUNICATIONS

- *Submission to the Science and Technology Review Scretariat of Industry Canada*, septembre 1994.
- *Submission to the Environmental Review Panel for the Nuclear Fuel Waste Disposal Concept*, août 1995.
- *Submission to the Parliamentary Sub-Committee on Natural Resources on Bill to Review Nuclear Safety Act*, octobre 1996.
- *Importance du Centre canadien de neutrons pour le soutien et l'expansion future des réacteurs CANDU*, novembre 1998.
- *Presentation to Natural Resources Canada on Consultation on Options for Federal Oversight of Nuclear Fuel Waste Management and Disposal*, 17 février 1999.
- Soumission préparée à la demande de Ressources naturelles Canada, *A Rationale for Canadian Expenditure on Nuclear Research and Development in the 21st Century*, 14 mai 1999.
- Rapport à l'intention des hauts fonctionnaires du gouvernement, *Vision 2020 et au-delà - Le besoin de la recherche et du développement nucléaire au XXIe siècle*, septembre 1999.
- Présentation dans le cadre des audiences publiques de la CCSN portant sur l'évaluation environnementale de la remise en service de la centrale de Pickering A, 14 décembre 2000.

ANNEXE D : LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES ACRONYMES

Abréviation ou acronyme	Définition
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
CANDU X	Concept du réacteur CANDU avancé
CANDU[MD]	Réacteur CANada Deutérium Uranium
CANFLEX[MC]	*CANDU Flexible Fueling* (renouvellement souple du combustible CANDU)
CANFLEX-SEU	CANFLEX avec combustible à uranium légèrement enrichi
CANFLEX-UN	CANFLEX avec combsutible à uranium naturel
CANTHERM	Nouveau type de canal de combustible composite pour le réacteur CANDU X
CATHENA	*Canadian Algorithm for Thermalhydraulic Network Analysis*
CCSN	Commission canadienne de sûreté nucléaire (anciennement Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA))
CCN	Centre canadien de neutrons
CNR	Conseil national de recherches
CNSR	Centre national des sciences radiologiques
CRI	Chaire de recherche industrielle
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie
EACL	Énergie atomique du Canada limitée
EPR	Évaluation probabiliste des risques
EPS	Évaluation probabiliste de la sûreté
ES	Eau surcritique
FTC	Flux thermique critique
GES	Gaz à effet de serre
GPC	Groupe des propriétaires de centrales CANDU
GVUC	Gestion de la vie utile de la centrale
LEU	Uranium faiblement enrichi
LRC	Laboratoires de Chalk River
LSFCR	*Large Scale Fuel Channel Replacement* (remplacement à grande échelle des canaux de combustible)
MAPLE	*Multipurpose Applied Physics Lattice Experiment*
NG CANDU	Nouvelle génération CANDU
NRU	*National Research Universal Reactor*
OPG	*Ontario Power Generation Inc.* (Ontario Hydro avant avril 1999)
PNRM	Programme neutronique pour la recherche sur les matériaux
REO	Réacteur à eau ordinaire
REP	Réacteur à eau sous pression
RNCan	Ressources naturelles du Canada
SEU	Uranium légèrement enrichi

Abréviation ou acronyme	Définition
SG	Sujets génériques
SSC	Systèmes, structures et composants
THP	Très haute pression
USNRC	*US Nuclear Regulatory Commission*

ANNEXE E : ACTIVITÉS DU COMITÉ

Réunion n° 33, 8-10 mars 2000 - Sheridan Park, Mississauga	
Présentation	**Nom et titre de l'auteur**
Partenariat international en recherche nucléaire	D.F. Torgerson
Bilan CCN	I.J. Hastings
Progrès – Prolongation de la durée de vie des centrales	K.R. Hedges
Bilan de RNCan sur l'énergie nucléaire au Canada	B. Moore
Le nouveau GPC et son orientation R et D	P. Tighe
Examen de capacité en R et D	K.R. Hedges/A. White
Stratégie d'EACL en matière de changement climatique	B. Rozendaal
Renseignements commerciaux et EACL	M.S. Lloyd
EACL et les prescripteurs à l'échelle du gouvernement canadien	D. Jackson

Réunion n° 34, 17-19 mai 2000 - Chalk River	
Présentation	**Nom et titre de l'auteur**
Programme d'amincissement des tubes de liaison	T.S. Gendron, A.J. Elliot, Z. Walker, D.S. Mancey
Programme d'amincissement des tubes de liaison et perspectives (UNB)	D.H. Lister
Programme NG CANDU	R. Duffey, J.M. Hopwood
CANDU X	S.J. Bushby
Installations de demain	P.J. Fehrenbach
Vers une centrale CANDU modèle	D.A. Meneley
Bilan – Codes - Conception et obtention de permis	P.J. Fehrenbach
R et D essentielle	D.F. Torgerson
Bilan – Radioprotection	J. Cornett

Réunion n° 35, 27-30 septembre 2000 – Fredericton (N.-B.)	
Présentation	**Nom et titre de l'auteur**
Questions de sûreté et de permis	B. Pilkington
Programme de gestion de vie	S. Groom/L. Delong
Remise en état de la centrale de Pointe Lepreau	S. Groom
Besoins en R et D nucléaire	R. White, S. Groom
Plan stratégique du GPC en matière de R et D pour les producteurs d'électricité exploitant une centrale CANDU	V. Langman

Réunion n° 36, 7-9 décembre 2000 - Sheridan Park, Mississauga	
Présentation	**Nom et titre de l'auteur**
Bilan – Examen de la capacité du GPC	A. White
Attitudes du public canadien envers l'énergie nucléaire	H. Douglas
Introduction au commerce électronique	I.J. Hastings
Tube de cuve transparent	M. Puls

Réunion du Sous-comité du Conseil consultatif de R et D		
Date	**Participants**	**Titre**
22-23 juin	R. Duffey, D. Wren, S. Bushby, H. Rummens, A. Miller, D. Torgerson	NG CANDU et CANDU X
6 juillet	B. Moore, G. Campbell, J. Stone, P. Giroux, I. Smith, C. McDermott	Rôle de la filière CANDU face au réchauffement global et le CCN
11 juillet	I. Hastings, K. Hedges, B. McDonald	CCN et gestion des codes
17 août	A. Carty, B. Buyers	CCN
17-18 août	J. Harvie, P. Wigfull, M. Taylor, J. Blythe, G. Ishaak, A. Biron, J. McManus, G. Mallory	Réglementation nucléaire

Réunion du Sous-comité du Conseil consultatif de R et D		
Date	**Participants**	**Titre**
30 août	J.S. Chang, G. Evans, B. Garland, V. Langman, B. Lewis, M. Lightstone, J. McKinnon, D. Nowak, F. Steward, P. Tighe, D. Tucker, A. White	GPC et relations avec les universités